

EXPRESS MAIL NO. EV 314841919 US

DATE OF DEPOSIT 6/25/03

Our File No. 9281/4579  
Client Reference No. N US02005

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of: )

Naoya Hasegawa et al. )

Serial No. To Be Assigned )

Filing Date: Herewith )

For: GMR Magnetic Detecting Element )  
Comprising Current Limiting Layer )  
Provided in Free Magnetic Layer )  
and Method of Manufacturing the )  
Detecting Element )

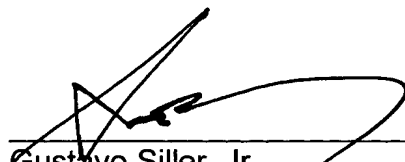
**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No.2002-184044, filed June 25, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,

  
\_\_\_\_\_  
Gustavo Siller, Jr.  
Registration No. 32,305  
Attorney for Applicant

BRINKS HOFER GILSON & LIONE  
P.O. BOX 10395  
CHICAGO, ILLINOIS 60610  
(312) 321-4200

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 6月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-184044

[ST.10/C]:

[JP2002-184044]

出 願 人

Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3019515

【書類名】 特許願

【整理番号】 021016AL

【提出日】 平成14年 6月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08  
G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【請求項の数】 41

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 斎藤 正路

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層は、複数の磁性層が、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 2】 フリー磁性層の上下のそれぞれに非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層は、複数の磁性層が、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 3】 前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側部に、前記フリー磁性層の磁化をそろえるためのハードバイアス層が形成されている請求項 1 または 2 記載の磁気検出素子。

【請求項 4】 前記フリー磁性層の上層及び／又は下層に、前記フリー磁性層の磁化をそろえるためのインスタックバイアス層が積層されている請求項 1 または 2 記載の磁気検出素子。

【請求項 5】 複数の前記磁性層の磁化が互いに平行方向を向いている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 6】 複数の前記磁性層が前記電流制限層を介して、強磁性的に結合している請求項 5 記載の磁気検出素子。

【請求項 7】 複数の前記磁性層の磁化が互いに反平行方向を向いている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 8】 前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントはすべて等しい請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 9】 前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の単位面積当

たりの磁気モーメントはそれぞれ異なっている請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 0】 前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の膜厚はすべて等しい請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 1】 前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の膜厚は、それぞれ異なっている請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 2】 前記フリー磁性層には、R u、R h、I r、O s、R e、C r、C uのうちいずれか 1 種または 2 種以上の非磁性材料からなる非磁性中間層が形成されている請求項 7 に記載の磁気検出素子。

【請求項 1 3】 フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 1 4】 フリー磁性層の上下のそれぞれに非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 1 5】 前記電流制限層の下面あるいは上面のどちらか一方あるいは両方に、貴金属材料層が形成されている請求項 1 ないし 1 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 6】 前記貴金属材料層は、R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R eのうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料で形成されている請求項 1 5 記載の磁気検出素子。

【請求項 1 7】 前記貴金属材料層に代えてC u層が形成される請求項 1 5 記載の磁気検出素子。

【請求項 1 8】 前記電流制限層の前記絶縁部は、少なくとも前記電流制限層の上面から下面にまで通じる複数の孔が設けられた絶縁材料膜であり、この孔

内に前記導電部となる導電材料膜が埋め込まれている請求項 1 ないし 1 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 9】 前記電流制限層の前記絶縁部は、膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が形成された絶縁材料膜であり、この溝は前記電流制限層の上面から下面にまで通じて形成されており、前記溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれている請求項 1 ないし 1 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 0】 前記電流制限層の前記絶縁部は、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる孔と、膜面と平行な平面から見たときに連続して延び、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる溝とが混在した絶縁材料膜であり、前記孔及び溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれている請求項 1 ないし 1 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 1】 前記絶縁材料膜は、酸化膜あるいは窒化膜で形成される請求項 1 8 ないし 2 0 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 2】 前記電流制限層の前記導電部は導電性粒子であり、前記導電性粒子は前記絶縁部となる絶縁性材料層内に分散されている請求項 1 ないし 1 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 3】 前記電流制限層の前記絶縁部は絶縁性粒子であり、前記絶縁性粒子は、前記導電部となる導電材料膜内に分散されている請求項 1 ないし 1 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 4】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 下から第 1 の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を構成する第 1 磁性層、及び絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を積層する工程、

(b) 前記電流制限層の上に、フリー磁性層を構成する第 2 磁性層を積層する工程、

(c) 第 2 の電極層を積層する工程。

【請求項 2 5】 前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁

性層を前記電流制限層を介して強磁性的に結合させる請求項 2 4 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 6】 前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを等しくする請求項 2 4 または 2 5 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 7】 前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを異ならせる請求項 2 4 または 2 5 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 8】 前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の膜厚を等しくする請求項 2 4 ないし 2 7 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 9】 前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の膜厚を異ならせる請求項 2 4 ないし 2 7 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 0】 前記 (b) 工程と前記 (c) 工程の間に、  
(d) 前記フリー磁性層の上に、非磁性材料層、固定磁性層、反強磁性層を積層する工程を有する請求項 2 4 ないし 2 9 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 1】 前記 (d) 工程の後に、磁場中アニールを 1 回のみ行う請求項 3 0 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 2】 前記 (a) 工程または前記 (b) 工程において、前記第 1 磁性層または第 2 磁性層中に、Ru、Rh、Ir、Os、Re、Cr、Cuのうちいずれか 1 種または 2 種以上の非磁性材料からなる非磁性中間層を形成する請求項 3 1 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 3】 前記 (a) 工程と (b) 工程の間、または前記 (b) 工程と (d) 工程の間に、第 1 の磁場中アニールを行い、前記 (d) 工程の後に、前記第 1 の磁場中アニールとは、異なる向き及び／又は異なる磁場強度の磁場中で第 2 の磁場中アニールを行う請求項 3 0 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 4】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造



方法。

(e) 下から第 1 の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、及び絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を積層する工程、

(f) 前記電流制限層の上に、フリー磁性層を積層する工程、

(g) 第 2 の電極層を積層する工程。

【請求項 3 5】 前記 (f) 工程と前記 (g) 工程の間に、

(h) 前記フリー磁性層の上に、非磁性材料層、固定磁性層、反強磁性層を積層する工程を有する請求項 3 4 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 6】 前記電流制限層を成膜する工程に、

(a 1) 上面から下面にまで通じる複数の孔または膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が形成された絶縁材料膜を成膜する工程と、

(a 2) 前記絶縁材料膜上に導電材料膜をスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に形成された孔または溝内を前記導電材料膜で埋める工程を有する請求項 2 4 ないし 3 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 7】 前記絶縁材料膜を、不連続体膜として形成する請求項 3 6 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 8】 絶縁材料で形成されたターゲットと導電性材料で形成されたターゲットを用意し、これら 2 つのターゲットをスパッタすることにより、絶縁材料の粒子と導電性材料の粒子が混在した電流制限層を形成する請求項 2 4 ないし 3 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 9】 前記 (a) 工程で、前記第 1 磁性層上または前記フリー磁性層上に、貴金属元素からなる貴金属材料層または Cu からなる Cu 層を形成し、その後、前記貴金属材料層または Cu 層の上に前記電流制限層を形成する請求項 2 4 ないし 3 8 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 0】 前記電流制限層を形成後、前記電流制限層の上面に、貴金属元素からなる貴金属材料層または Cu からなる Cu 層を形成する請求項 2 4 ないし 3 9 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 1】 前記貴金属元素は、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re のうちいずれか 1 種または 2 種以上である請求項 3 9 または 4 0 記

載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、C P P (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子に係り、特に光学的な素子サイズは大きくても実効的な素子サイズを小さくでき、効果的にしかも容易に再生出力を向上させることが可能な磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

図28は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面から見た断面図である。

【0003】

このスピバルブ型磁気検出素子は、下から、反強磁性層2、固定磁性層3、非磁性材料層4、フリー磁性層5、非磁性材料層6、固定磁性層7、反強磁性層8から構成された多層膜9、多層膜9の下と上に形成された電極層1及び電極層10と、フリー磁性層5の両側部に形成されたハードバイアス層11、11及びハードバイアス層11、11の上下に形成された絶縁層12、12並びに絶縁層13、13からなっている。

【0004】

反強磁性層2、8はP t M n、固定磁性層3、7、及びフリー磁性層5はN i F eなどの強磁性材料、非磁性材料層4、6はC u、ハードバイアス層11はC o P tなどの硬磁性材料、絶縁層12、13はアルミナ、電極層1、10はC rなどの導電性材料によって形成されている。

【0005】

図28に示す磁気検出素子は、フリー磁性層5の上下のそれぞれに非磁性材料層4、固定磁性層3、及び非磁性材料層6、固定磁性層7が形成されているデュアルスピバルブ型磁気検出素子と呼ばれるものであり、ハードディスクなどの記録媒体からの記録磁界を検出するものである。

## 【 0 0 0 6 】

なお、図 2 8 に示される磁気検出素子は、多層膜 9 の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる C P P (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子である。

## 【 0 0 0 7 】

固定磁性層 3 及び固定磁性層 7 の磁化方向は、図示 Y 方向に固定されており、外部磁界が印加されていない状態のフリー磁性層 5 の磁化方向は、ハードバイアス層 1 1, 1 1 からの縦バイアス磁界によって、トラック幅方向 (図示 X 方向) に向けられて単磁区化している。外部磁界が印加されるとフリー磁性層 5 の磁化方向が変動して、多層膜 9 の電気抵抗が変化する。この電気抵抗の変化を電圧変化または電流変化として取り出すことにより外部磁界を検出する。

## 【 0 0 0 8 】

C P P 型の磁気検出素子は、前記トラック幅  $T_w$  及びハイト方向への長さ  $M R h$  が  $0.1 \mu m$  以下とならないと (すなわち素子面積が  $0.01 \mu m^2$  以下とならないと)、センス電流が前記多層膜の各層の膜面と平行方向に流れる C I P (current in the plane) 型よりも効果的に高い再生出力を得られないことがわかっている。

## 【 0 0 0 9 】

そこで、図 2 8 に示されるように、多層膜 9 に、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層 1 4 を重ね、前記センス電流を前記導電部内のみに流して絞り込むようにする構成が考えられた。

## 【 0 0 1 0 】

電極層から電流制限層 1 4 を経て多層膜 9 内のフリー磁性層 5 内に流れるセンス電流は、フリー磁性層 5 内を前記導電部と対向する部分のみに局部的に流れる (この部分の電流密度が局所的に高くなることになる)。

## 【 0 0 1 1 】

したがって、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層 5 の素子面積 (この素子面積を光学的な素子面積という) よりも、実際にフリー磁性層 5 内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に関与する素子面積 (この素子面積を実効的な素子面積

という) を小さくできるものと予想された。

【 0 0 1 2 】

【発明が解決しようとする課題】

図 2 8 に示された従来の磁気検出素子では、反強磁性層 2, 8 の上または下に電流制限層 1 4 が積層されている。

【 0 0 1 3 】

反強磁性層 2, 8 を形成するための P t M n などの反強磁性材料は抵抗値が高い。従って、反強磁性層 2, 8 内を流れる伝導電子の平均自由行程は短く、経路が絞り込まれた伝導電子が非弾性散乱して拡散してしまい、電流制限層 1 4 による局所的な電流密度集中の効果が薄れてしまっていた。その結果、磁気検出素子の  $\Delta R$  を大きくすることが難しいという問題が発生していた。

【 0 0 1 4 】

本発明は、上記従来の課題を解決するためのものであり、電流制限層による局所的な電流密度集中の効果を十分に発揮でき、磁気検出素子の  $\Delta R$  を大きくすることのできる磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的としている。

【 0 0 1 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層は、複数の磁性層が、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とするものである。

【 0 0 1 6 】

本発明では、前記フリー磁性層の内部に前記電流制限層が形成されるので、前記フリー磁性層内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

【 0 0 1 7 】

したがって本発明によれば、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を  $0.01 \mu\text{m}^2$  以上に形成して

も実際に前記フリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に關与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を確実に小さくでき、 $\Delta R$ が大きく、再生出力の高いC P P型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

#### 【 0 0 1 8 】

また前記フリー磁性層の素子面積を $0.01\mu\text{m}^2$ 以上に大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

#### 【 0 0 1 9 】

また、本発明は、フリー磁性層の上下のそれぞれに非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層は、複数の磁性層が、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されることを特徴とするものである。

#### 【 0 0 2 0 】

この構成の磁気検出素子は、いわゆるデュアル型のスピバルブ型磁気検出素子であり、電気抵抗の絶対値が大きくなるので、C P P型の磁気検出素子の磁界検出出力（再生感度）を向上させるために適した構造である。

#### 【 0 0 2 1 】

本発明でも、前記フリー磁性層の内部に前記電流制限層が形成されるので、前記フリー磁性層内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

#### 【 0 0 2 2 】

また、前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側部に、前記フリー磁性層の磁化をそろえるためのハードバイアス層が形成されているか、前記フリー磁性層の上層及び／又は下層に、前記フリー磁性層の磁化をそろえるためのインスタックバイアス層又は交換結合膜が積層されていることが好ましい。

#### 【 0 0 2 3 】

本発明では、複数の前記磁性層の磁化が互いに平行方向を向いていることが好

ましい。特に、複数の前記磁性層が前記電流制限層を介して、強磁性的に結合しているときより好ましい。

【 0 0 2 4 】

複数の前記磁性層を強磁性的に結合させるには、前記電流制限層に形成されたピンホールを介して磁性層どうしを直接接触させる方法や後述するトポロジカルカップリングによる方法がある。

【 0 0 2 5 】

ただし、本発明では、複数の前記磁性層の磁化が互いに反平行方向を向いていてもよい。

【 0 0 2 6 】

また、前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントはすべて等しいことが好ましい。

【 0 0 2 7 】

ただし、前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントはそれぞれ異なってもよい。特に、複数の前記磁性層の磁化が互いに反平行方向を向いているときには、複数の前記磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが異なっているとエネルギー的に安定化する。

【 0 0 2 8 】

本発明では、前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の膜厚はすべて等しいことが好ましい。

【 0 0 2 9 】

ただし、前記フリー磁性層を構成する複数の前記磁性層の膜厚がそれぞれ異なってもよい。特に、複数の前記磁性層の磁化が互いに反平行方向を向いているときには、複数の前記磁性層の膜厚が異なっているとエネルギー的に安定化する。

【 0 0 3 0 】

複数（特に、3枚以上の奇数）の前記磁性層の磁化が互いに反平行方向を向いているとき、前記フリー磁性層に、Ru、Rh、Ir、Os、Re、Cr、Cuのうちいずれか1種または2種以上の非磁性材料からなる非磁性中間層が形成さ

れていると、フリー磁性層の上下に形成された両方の固定磁性層の磁化方向が同じであっても磁気抵抗効果を発揮することができる。

【 0 0 3 1 】

あるいは、本発明は、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とするものである。

【 0 0 3 2 】

本発明では、前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に前記電流制限層が形成されることにより、前記フリー磁性層内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

【 0 0 3 3 】

したがって本発明では、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を  $0.01 \mu\text{m}^2$  以上に形成しても実際に前記フリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に関与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を確実に小さくでき、 $\Delta R$  が大きく、再生出力の高い CPP 型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

【 0 0 3 4 】

また前記フリー磁性層の素子面積を  $0.01 \mu\text{m}^2$  以上に大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

【 0 0 3 5 】

ただし、前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に前記電流制限層が形成されるときには、前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の内部を移動するアップスピンの伝導電子の散乱を抑えること、及び伝導電子のスピンの向きを変えないよう（スピンフリップが起こらないよう）にすることが必要になる。

【 0 0 3 6 】

伝導電子のスピンの向きを変えないようにするためには、前記電流制限層の開

口部と非開口部のコンストラクトを高くし、開口部に余分な不純物元素が介在しないようにすること、或いは、伝導電子のスピンフリップが生じにくい材料で前記電流制限層を形成することが好ましい。

## 【 0 0 3 7 】

または、本発明は、フリー磁性層の上下のそれぞれに非磁性材料層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層された多層膜を有し、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に、絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を介して積層されていることを特徴とするものである。

## 【 0 0 3 8 】

本発明は、前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に前記電流制限層が形成されるデュアル型のスピバルブ型磁気検出素子である。

## 【 0 0 3 9 】

なお、前記電流制限層の下面あるいは上面のどちらか一方あるいは両方に、貴金属材料層が形成されていることが好ましい。

## 【 0 0 4 0 】

前記貴金属材料層は、例えば、R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R eのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料によって形成されている。

## 【 0 0 4 1 】

または、前記貴金属材料層に代えてC u層が形成されてもよい。

また本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は、少なくとも前記電流制限層の上面から下面にまで通じる複数の孔が設けられた絶縁材料膜であり、この孔内に前記導電部となる導電材料膜が埋め込まれていることが好ましい。

## 【 0 0 4 2 】

または本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は、膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が形成された絶縁材料膜であり、この溝は前記電流制限層の上面から下面にまで通じて形成されており、前記溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれていることが好ましい。

## 【 0 0 4 3 】



あるいは本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部は、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる孔と、膜面と平行な平面から見たときに連続して延び、前記電流制限層の上面から下面にまで通じる溝とが混在した絶縁材料膜であり、前記孔及び溝内に前記導電部となる導電性材料が埋め込まれていることが好ましい。

## 【 0 0 4 4 】

また本発明では、前記絶縁材料膜は、酸化膜あるいは窒化膜で形成されることが好ましい。

## 【 0 0 4 5 】

あるいは本発明では、前記電流制限層の前記導電部が導電性粒子であり、前記導電性粒子は前記絶縁部となる絶縁性材料層内に分散されていることが好ましい。

## 【 0 0 4 6 】

または本発明では、前記電流制限層の前記絶縁部が絶縁性粒子であり、前記絶縁性粒子は、前記導電部となる導電材料膜内に分散されていてもよい。

## 【 0 0 4 7 】

上記した電流制限層では、いずれも適切に絶縁部と導電部とが混在する膜構成とすることができ、実効的な素子サイズの狭小化を適切に図ることが可能である。

## 【 0 0 4 8 】

また、本発明の磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

(a) 下から第1の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を構成する第1磁性層、及び絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を積層する工程、

(b) 前記電流制限層の上に、フリー磁性層を構成する第2磁性層を積層する工程、

(c) 第2の電極層を積層する工程。

## 【 0 0 4 9 】

なお、本発明では、前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層及び前記第 2 磁性層を前記電流制限層を介して、強磁性的に結合させることが好ましい。

## 【 0 0 5 0 】

なお、前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層及び前記第 2 磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを等しくすることが好ましい。

## 【 0 0 5 1 】

ただし、前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層及び前記第 2 磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを異ならせてもよい

なお、本発明では、前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の膜厚を等しくすることが好ましい。ただし、前記フリー磁性層を構成する前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の膜厚を異ならせてもよい。

## 【 0 0 5 2 】

また、前記 (b) 工程と前記 (c) 工程の間に、  
(d) 前記フリー磁性層の上に、非磁性材料層、固定磁性層、反強磁性層を積層する工程を有することにより、いわゆるデュアル型のスピバルブ型磁気検出素子を形成することができる。

## 【 0 0 5 3 】

前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層を強磁性的に結合させたり、前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを等しくすることによって、前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の磁化方向を平行方向にすると、デュアル型のスピバルブ型磁気検出素子を形成するときに、前記 (d) 工程の後に、磁場中アニールを 1 回行うだけでよい。すなわち、フリー磁性層の上下の固定磁性層の磁化方向を同じにしても、磁気抵抗効果を発揮できる。

## 【 0 0 5 4 】

前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の磁化方向が反平行方向になったデュアル型のスピバルブ型磁気検出素子を形成するときには、  
前記 (a) 工程または前記 (b) 工程において、前記第 1 磁性層または第 2 磁性層中に、Ru、Rh、Ir、Os、Re、Cr、Cuのうちいずれか 1 種または 2 種以上の非磁性材料からなる非磁性中間層を形成することが好ましい。

## 【 0 0 5 5 】

この構成であれば、フリー磁性層の上下に形成された両方の固定磁性層の磁化方向が同じであっても磁気抵抗効果を発揮することができるので、前記（d）工程の後に、磁場中アニールを1回行うだけでよい。

## 【 0 0 5 6 】

前記第1磁性層と前記第2磁性層の磁化方向が反平行方向になったデュアル型のスピバルブ型磁気検出素子を形成するときの他の方法として、前記（a）工程と（b）工程の間または前記（b）工程と（d）工程の間に、第1の磁場中アニールを行い、前記（d）工程の後に、前記第1の磁場中アニールとは、異なる向き及び／又は異なる磁場強度の磁場中で第2の磁場中アニールを行う方法もある。

## 【 0 0 5 7 】

また、本発明の他の磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

（e）下から第1の電極層、反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、及び絶縁部と導電部とが混在した電流制限層を積層する工程、

（f）前記電流制限層の上に、フリー磁性層を積層する工程、

（g）第2の電極層を積層する工程、

上記製造方法によって、前記非磁性材料層と前記フリー磁性層の間に前記電流制限層が設けられている磁気検出素子を形成することができる。

## 【 0 0 5 8 】

また、前記（f）工程と前記（g）工程の間に、

（h）前記フリー磁性層の上に、非磁性材料層、固定磁性層、反強磁性層を積層する工程を有すると、前記非磁性材料層と前記フリー磁性層の間に前記電流制限層が設けられているデュアルスピバルブ型の磁気検出素子を形成することができる。

## 【 0 0 5 9 】

なお、電流制限層を形成するときは、

（a1）上面から下面にまで通じる複数の孔、または膜面に平行な平面から見た

ときに連続して延びる溝が形成された絶縁材料膜を成膜する工程と、

(a 2) 前記絶縁材料膜上に導電材料膜をスパッタ成膜し、このとき前記絶縁材料膜に形成された孔または溝内を前記導電材料膜で埋める工程を有することが好ましい。

【 0 0 6 0 】

なお、本発明では、前記導電材料膜が前記フリー磁性層を構成する第 2 磁性層であってもよい。

【 0 0 6 1 】

また、前記絶縁材料膜を、不連続体膜として形成することが好ましい。これにより、前記絶縁材料膜に例えば下面から上面にまで通じる複数の孔または溝を形成することが容易になる。前記絶縁材料膜を不連続体膜とするには、材料の選定とスパッタ条件が重要である。スパッタ条件とは、基板温度や A r ガス圧、基板とターゲット間の距離などである。

【 0 0 6 2 】

あるいは、絶縁材料で形成されたターゲットと導電性材料で形成されたターゲットを用意し、これら 2 つのターゲットを、同時または交互にスパッタすることにより、絶縁材料の粒子と導電性材料の粒子が混在した電流制限層を形成することができる。

【 0 0 6 3 】

本発明では、前記電流制限層を熱処理し、この熱処理によって膜内の酸化されやすい元素の酸化を促進させて、電流制限層の開口部（電流が流れる部分）の割合（比率）を調整することが好ましい。前記開口部の割合は全体の 1 0 % ～ 3 0 % 程度であることが好ましい。

【 0 0 6 4 】

なお、前記 (a) 工程で、前記第 1 磁性層上または前記フリー磁性層上に、貴金属元素からなる貴金属材料層または C u からなる C u 層を形成し、その後、前記貴金属材料層または C u 層の上に前記電流制限層を形成することが好ましい。

【 0 0 6 5 】

さらに、前記電流制限層を形成後、前記電流制限層の上面に、貴金属元素から

なる貴金属材料層またはCuからなるCu層を形成することが好ましい。

【0066】

前記貴金属材料とは、例えばRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上である。

【0067】

【発明の実施の形態】

図1は本発明における第1実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0068】

図1に示す磁気検出素子は、いわゆるデュアル型のスピバルブ型薄膜素子である。

【0069】

第1の電極層20の中央上面には、下から下地層21、シード層22、反強磁性層23、磁性層50と52とその間に形成されたRuなどの中間層51からなる3層フェリ構造の固定磁性層24、非磁性材料層25及びフリー磁性層26が形成されている。さらにフリー磁性層26の上面に非磁性材料層27、磁性層60と62とその間に形成されたRuなどの中間層61からなる3層フェリ構造の固定磁性層28、反強磁性層29、及び第2の電極層30が順次積層されている。

【0070】

また、図1に示すように、下地層21から反強磁性層29までの多層膜T1のトラック幅方向（図示X方向）における両側領域には、絶縁層31、31、バイアス下地層32、32、ハードバイアス層33、33、絶縁層34、34が順次積層形成されている。

【0071】

第1の電極層20は、例えば $\alpha$ -Ta、Au、Cr、Cu（銅）やW（タングステン）などで形成されている。下地層21は、Ta、Hf、Nb、Zr、Ti、Mo、Wのうち少なくとも1種以上で形成されることが好ましい。下地層21は50Å以下程度の膜厚で形成される。ただし、この下地層21は形成されてい

なくとも良い。

#### 【0072】

シード層22は、主として面心立方晶から成り、次に説明する反強磁性層23との界面と平行な方向に(111)面が優先配向されている。シード層22は、Cr、NiFe合金、あるいはNi-Fe-Y合金（ただしYは、Cr, Rh, Ta, Hf, Nb, Zr, Tiから選ばれる少なくとも1種以上）で形成されることが好ましい。これらの材質で形成されたシード層22はTa等で形成された下地層21上に形成されることにより反強磁性層23との界面と平行な方向に(111)面が優先配向しやすくなる。シード層22は、例えば30Å程度で形成される。

#### 【0073】

なお本発明における磁気検出素子は各層の膜面と垂直方向にセンス電流が流れるCPP型であるため、シード層22にも適切にセンス電流が流れる必要性がある。よってシード層22は比抵抗の高い材質でないことが好ましい。すなわちCPP型ではシード層22はNiFe合金などの比抵抗の低い材質で形成されることが好ましい。ただし、シード層22は形成されなくとも良い。

#### 【0074】

反強磁性層23及び反強磁性層29は、元素X（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Osのうち1種または2種以上の元素である）とMnとを含有する反強磁性材料で形成されることが好ましい。あるいは反強磁性層23及び反強磁性層29は、元素Xと元素X'（ただし元素X'は、Ne, Ar, Kr, Xe, Be, B, C, N, Mg, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Hf, Ta, W, Re, Au, Pb、及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である）とMnを含有する反強磁性材料により形成されることが好ましい。

#### 【0075】

これらの反強磁性材料は、耐食性に優れしかもブロッキング温度も高く次に説明する固定磁性層24または固定磁性層28との界面で大きな交換異方性磁界を発生し得る。また反強磁性層23及び反強磁性層29は80Å以上で300Å以

下、例えば 200 Å の膜厚で形成されることが好ましい。

#### 【0076】

この実施形態では固定磁性層 24 及び固定磁性層 28 は 3 層のフェリ構造で形成されている。

#### 【0077】

固定磁性層 24 を構成する符号 50 及び 52 の層は磁性層であり、例えば Co、CoFe、NiFe、CoFeNi など形成される。磁性層 50、52 間には Ru など形成された中間層 51 が介在し、この構成により、磁性層 50 と磁性層 52 の磁化方向は互いに反平行状態にされる。これはいわゆる人工フェリ構造と呼ばれる。固定磁性層 28 を構成する磁性層 60、磁性層 62 も例えば Co、CoFe、NiFe、CoFeNi など形成され、磁性層 60、62 間には Ru など形成された中間層 61 が介在し、磁性層 60 と磁性層 62 の磁化方向は互いに反平行状態にされる。

#### 【0078】

反強磁性層 23 と磁性層 50 の間及び反強磁性層 29 と磁性層 62 の間には、交換異方性磁界が発生している。

#### 【0079】

例えば磁性層 50 の磁化がハイト方向（図示 Y 方向）と逆方向に固定された場合、もう一方の磁性層 52 は RKKY 相互作用により、ハイト方向に磁化され固定される。また、磁性層 62 の磁化がハイト方向と逆方向に固定された場合、もう一方の磁性層 60 は RKKY 相互作用により、ハイト方向に磁化され固定される。

#### 【0080】

この構成により固定磁性層 24 及び固定磁性層 28 の磁化を安定した状態にでき、また固定磁性層 24 及び固定磁性層 28 の磁化方向を強固に固定できる。

#### 【0081】

なお例えば、磁性層 50、52 及び磁性層 60、62 の膜厚はそれぞれ 10～70 Å 程度で形成される。また中間層 51 及び中間層 61 の膜厚は 3 Å～10 Å 程度で形成される。

## 【 0 0 8 2 】

なお固定磁性層 2 4、固定磁性層 2 8 はフェリ構造ではなく N i F e 合金、N i F e C o 合金、あるいは C o F e 合金などの単層膜あるいは積層膜で形成されていても良い。

## 【 0 0 8 3 】

非磁性材料層 2 5 及び非磁性材料層 2 7 が形成されている。非磁性材料層 2 5 及び非磁性材料層 2 7 は例えば C u, C r, A u, A g などの電気抵抗の低い導電性材料によって形成される。特に、C u で形成されることが好ましい。非磁性材料層 2 5 及び非磁性材料層 2 7 は例えば 2 5 Å 程度の膜厚で形成される。

## 【 0 0 8 4 】

図 1 に示すように、多層膜 T 1 のトラック幅方向の両側領域の第 1 の電極層 2 0 上には、絶縁層 3 1, 3 1 が形成されている。絶縁層 3 1, 3 1 は例えば A l<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、S i O<sub>2</sub> など一般的な絶縁材料で形成される。

## 【 0 0 8 5 】

絶縁層 3 1, 3 1 の上面 3 1 a, 3 1 a は、フリー磁性層 2 6 の下面 2 6 a よりも図示下側（図示 Z 方向とは逆方向）に形成されていることが好ましい。

## 【 0 0 8 6 】

絶縁層 3 1, 3 1 の上には、バイアス下地層 3 2, 3 2 が形成されている。またバイアス下地層 3 2, 3 2 の上にはハードバイアス層 3 3, 3 3 が形成されている。ハードバイアス層 3 3, 3 3 は、フリー磁性層 2 6 の両側端面 2 6 b, 2 6 b に対向する位置に形成される。ハードバイアス層 3 3, 3 3 は、トラック幅方向（図示 X 方向）に磁化されており、ハードバイアス層 3 3, 3 3 からの縦バイアス磁界によって、フリー磁性層 2 6 の磁化（第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の磁化）は図示 X 方向に揃えられる。

## 【 0 0 8 7 】

バイアス下地層 3 2, 3 2 はハードバイアス層 3 3, 3 3 の特性（保磁力 H<sub>c</sub>、角形比 S）を向上させるために設けられたものである。

## 【 0 0 8 8 】

本発明では、バイアス下地層 3 2, 3 2 は、結晶構造が体心立方構造（b c c



構造)の金属膜で形成されることが好ましい。なおこのときバイアス下地層 3 2, 3 2 の結晶配向は (1 0 0) 面が優先配向するのが好ましい。

#### 【0 0 8 9】

またハードバイアス層 3 3, 3 3 は、C o P t 合金や C o P t C r 合金などで形成される。これら合金の結晶構造は、稠密六方構造 (h c p) 単相あるいは面心立方構造 (f c c) と稠密六方構造 (h c p) の混相となっている。

#### 【0 0 9 0】

ここで上記の金属膜で形成されたバイアス下地層 3 2, 3 2 とハードバイアス層 3 3, 3 3 を構成する C o P t 系合金の h c p 構造の界面での原子配列が近くなるために、C o P t 系合金は f c c 構造を形成しづらく h c p 構造で形成されやすくなる。このとき h c p 構造の c 軸は C o P t 系合金とバイアス下地層の境界面内に優先配向される。h c p 構造は f c c 構造に比べて c 軸方向に大きな磁気異方性を生じるため、ハードバイアス層 3 3, 3 3 に磁界を与えたときの保磁力  $H_c$  は大きくなるのである。さらに h c p の c 軸は C o P t 系合金とバイアス下地層との境界面内で優先配向となっているため、残留磁化が増大し、残留磁化／飽和磁束密度で求められる角形比  $S$  は大きくなる。その結果、ハードバイアス層 3 3, 3 3 の特性を向上させることができ、ハードバイアス層 3 3, 3 3 から発生するバイアス磁界を増大させることができる。結晶構造が体心立方構造 (b c c 構造) の金属膜は、C r, W, M o, V, M n, N b, T a のいずれか 1 種または 2 種以上の元素で形成されることが好ましい。

#### 【0 0 9 1】

また、バイアス下地層 3 2 はハードバイアス層 3 3, 3 3 の下側にのみ形成されていることが好ましいが、フリー磁性層 2 6 の両側端面 2 6 b, 2 6 b とハードバイアス層 3 3, 3 3 間にも若干、介在してもよい。フリー磁性層 2 6 の両側端面 2 6 b, 2 6 b とハードバイアス層 3 3, 3 3 間に形成されるバイアス下地層 3 2, 3 2 のトラック幅方向 (図示 X 方向) における膜厚は 1 n m 以下であることが好ましい。

#### 【0 0 9 2】

これによりハードバイアス層 3 3, 3 3 とフリー磁性層 2 6 とを磁氣的に連続

体にでき、フリー磁性層 2 6 の端部が反磁界の影響を受けるバックリング現象などの問題も発生せず、フリー磁性層 2 6 の磁区制御を容易にできる。

#### 【 0 0 9 3 】

また図 1 に示すように、ハードバイアス層 3 3、3 3 の上には絶縁層 3 4、3 4 が形成されている。絶縁層 3 4、3 4 は、 $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  などの一般的な絶縁材料で形成される。

#### 【 0 0 9 4 】

なおこの実施形態では、絶縁層 3 4、3 4 の上面と反強磁性層 2 9 の上面とが連続面となっている。

#### 【 0 0 9 5 】

この実施形態では、第 2 の電極層 3 0 から第 1 の電極層 2 0 に向けてセンス電流が流れるが、第 1 の電極層 2 0 から第 2 の電極層 3 0 に向けてセンス電流が流れても良い。従ってセンス電流は、磁気検出素子の各層を膜面と垂直方向に流れ、このようなセンス電流の流れ方向は CPP 型と呼ばれる。

#### 【 0 0 9 6 】

固定磁性層 2 8、非磁性材料層 2 7、フリー磁性層 2 6、非磁性材料層 2 5 及び固定磁性層 2 4 に検出電流（センス電流）が与えられ、走行方向が Z 方向であるハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界が Y 方向に与えられると、フリー磁性層 2 6 の磁化（第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の磁化）が図示 X 方向から Y 方向へ向けて変化する。このフリー磁性層 2 6 内での磁化の方向の変動と、固定磁性層 2 8 及び固定磁性層 2 4 の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し（これを磁気抵抗効果という）、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化または電流変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

#### 【 0 0 9 7 】

図 1 に示される磁気検出素子は、下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、フリー磁性層 2 6、非磁性材料層 2 7、固定磁性層 2 8、反強磁性層 2 9 からなる多層膜 T 1 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側端面 S 1、S 1 が連続した傾斜面となっている。

#### 【 0 0 9 8 】

図 1 に示された磁気検出素子の特徴部分について説明する。

この実施形態では、フリー磁性層 2 6 が、第 1 磁性層 5 3、電流制限層 5 4、第 2 磁性層 5 5 からなる 3 層構造である。

【 0 0 9 9 】

第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の膜厚は  $10\text{ \AA} \sim 100\text{ \AA}$  であり、電流制限層 5 4 の膜厚は  $5\text{ \AA} \sim 30\text{ \AA}$  である。

【 0 1 0 0 】

第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 は、NiFe 合金、CoFe 合金、Co、CoNiFe 合金などにより形成される。なお、第 1 磁性層 5 3 の下及び第 2 磁性層 5 5 の上には、拡散防止のための Co 膜または CoFe 膜が形成されることが好ましい。

【 0 1 0 1 】

電流制限層 5 4 は、絶縁部と導電部とが混在した層であり、フリー磁性層 2 6 内に流れるセンス電流の電流密度を局所的に高密度化するものである。

【 0 1 0 2 】

電流制限層 5 4 の詳しい構造については後述するが、この電流制限層 5 4 を介して第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 が強磁性的に結合して、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が平行方向を向くことが好ましい。

【 0 1 0 3 】

第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 を強磁性的に結合させるには、電流制限層 5 4 に形成された極小の孔または溝を介して第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 どうしを直接接触させる方法やトポロジカルカップリングによる方法がある。

【 0 1 0 4 】

トポロジカルカップリングとは、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 に、図 2 に示されるようなうねりが生じることによって、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の表面に表面磁荷が発生し、これによって第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 が静磁結合（トポロジカルカップリング）することである。

【 0 1 0 5 】

また、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の単位面積当たりの磁気モーメント

が等しいと、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 間のカップリングが弱くても、外部磁界に対する磁化の回転角が同様となり、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が平行方向を向きやすくなる。第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 が同じ組成の材料から形成されているときには、第 1 磁性層 5 3 の膜厚  $t_1$  及び第 2 磁性層 5 5 の膜厚  $t_2$  を等しくすることにより、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の単位面積当たりの磁気モーメントを等しくすることができる。

## 【 0 1 0 6 】

ただし、図 1 に示される磁気検出素子は、フリー磁性層 2 6 の両側領域にハードバイアス層 3 3、3 3 が形成されており、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の両方にトラック幅方向（図示 X 方向）の静磁界（縦バイアス磁界）が印加されており、このハードバイアス層 3 3、3 3 から与えられる静磁界が大きければ、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 が磁氣的に分断されていても、また、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の単位面積当たりの磁気モーメントが異なっているとしても、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向を、外部磁界が印加されている状態であっても、平行方向に向けることができる。

## 【 0 1 0 7 】

図 1 に示す構造のデュアルスピンバルブ型薄膜素子の場合、多層膜 T 1 が磁気抵抗効果を発揮できるように、フリー磁性層 2 6 よりも下側に形成された固定磁性層 2 4 のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層 5 2 が、例えばハイト方向（図示 Y 方向）に固定されていた場合、フリー磁性層 2 6 よりも上側に形成された固定磁性層 2 8 のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層 6 0 も、ハイト方向（図示 Y 方向）に固定される。

## 【 0 1 0 8 】

図 1 に示される磁気検出素子では、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_3$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_4$  より小さくし、また、固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 と磁性層 6 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 6 2 の膜厚  $t_5$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_6$  より小さくしている。

## 【 0 1 0 9 】

これによって、磁性層 5 0 の単位面積当たりの磁気モーメント<磁性層 5 0 の単位面積当たりの磁気モーメント、かつ磁性層 6 2 の単位面積当たりの磁気モーメント<磁性層 6 0 の単位面積当たりの磁気モーメントとし、図 1 の磁気検出素子を製造するときに、1 回の磁場中アニールによって、磁性層 5 2 及び磁性層 6 0 をハイト方向（図示 Y 方向）に固定することができる。

#### 【0 1 1 0】

フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の間に形成されている電流制限層 5 4 について説明する。

#### 【0 1 1 1】

本発明における電流制限層 5 4 は例えば図 3 に示す膜構成である。図 3 は、反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3、及び電流制限層 5 4 の部分模式図である。

#### 【0 1 1 2】

図 3 に示すように電流制限層 5 4 は、複数の孔 5 6 が形成された絶縁材料膜（絶縁部）5 7 が母材となっている。孔 5 6 のうち少なくとも一部の孔 5 6 は、絶縁材料膜 5 7 を下面から上面にまで貫通している。

#### 【0 1 1 3】

図 3 に示すように、絶縁材料膜 5 7 上には導電材料膜（導電部）5 8 が形成されている。導電材料膜 5 8 は絶縁材料膜 5 7 に形成された孔 5 6 内にも形成されており、孔 5 6 は導電材料膜 5 8 によって埋められた状態になっている。なお図 3 では、図面上の記載を簡潔にするため、一部の孔のみに「孔 5 6」及び「導電材料膜 5 8」なる文言を記入している。

#### 【0 1 1 4】

ここで絶縁材料膜 5 7 は、酸化膜あるいは窒化膜で形成されることが好ましい。また酸化膜は、A g、C u、Z n、G e、P d、A l、T i、Z r、H f、C r、T a、V、N b、M o、W、F e、C o、S i、N i、希土類元素のうちいずれか 1 種または 2 種以上の酸化物からなる絶縁材料で形成されることが好ましい。また窒化膜は、A g、C u、Z n、G e、P d、A l、T i、Z r、H f、C r、T a、V、N b、M o、W、F e、C o、S i、N i、希土類元素のうち

いずれか 1 種または 2 種以上の窒化物からなる絶縁材料で形成されることが好ましい。

#### 【 0 1 1 5 】

これら酸化膜及び窒化膜は、薄く成膜されると、スパッタ成膜の際に凝集して不連続体膜になりやすい材質である。不連続体膜になると絶縁材料膜 5 7 には図 3 に示すような上面から下面にまで貫通する孔 5 6 が形成されやすくなる。

#### 【 0 1 1 6 】

また不連続体膜となるか否かは材質の選定のみならず、スパッタ条件も重要な要素である。絶縁材料膜 5 7 を不連続体膜とするためのスパッタ条件は、基板温度を 2 0 ℃ ～ 2 0 0 ℃ 程度に低くしたり、A r ガス圧を 1 0 ～ 5 0 m T o r r ( 1 . 3 ～ 6 . 7 P a ) 程度に高くしたり、また基板とターゲット間の距離を 2 0 0 ～ 3 0 0 m m 程度に離したりすること等である。

#### 【 0 1 1 7 】

なお上記したスパッタ成膜では、例えば、R F スパッタ法、R F マグネトロンスパッタ法、D C マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれか、またはそれらを組み合わせたスパッタ法などを使用できる。

#### 【 0 1 1 8 】

次に導電材料膜 5 8 は、一般的な導電性材料を使用することができ、例えば  $\alpha$ -T a、A u、C r、C u (銅) や W (タングステン) などで形成することもできる。または、導電材料膜 5 8 は R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R e のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属元素から形成されてもよい。なお前記貴金属に C u が添加されていてもよい。

#### 【 0 1 1 9 】

前記貴金属元素はそれ自体、酸化されにくい材質であり、絶縁材料膜 5 7 上及び孔 5 6 内に貴金属元素から形成された導電材料膜 5 8 を形成することで、熱処理などによって酸素の拡散を抑制でき、開口部 (孔または溝) と非開口部 (絶縁材料層) とのコントラストを良好に保つことができる。また、フリー磁性層 2 6 の第 2 磁性層 5 5 が、電流制限層 5 4 の導電材料膜 5 8 を兼用することもできる

## 【 0 1 2 0 】

以上のように第 1 磁性層 5 3 上に絶縁部と導電部とが混在した電流制限層 5 4 を設けることで、次のような効果を期待することができる。

## 【 0 1 2 1 】

C P P 型の磁気検出素子では、第 2 の電極層 3 0 から流れるセンス電流は、電流制限層 5 4 内を膜面と垂直方向に流れるが、本発明では、電流制限層 5 4 を絶縁材料膜（絶縁部） 5 7 に形成された孔 5 6 内に導電材料膜（導電部） 5 8 を埋め込んだ構造としているから、センス電流は導電材料膜 5 8 内のみ（あるいは絶縁材料膜（絶縁部） 5 7 に形成された孔 5 6 内のみ）に流れることになる。

## 【 0 1 2 2 】

このため、フリー磁性層 2 6 内を流れるセンス電流の電流密度が局所的に高くなる。

## 【 0 1 2 3 】

したがって、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層 2 6 の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を大きく形成しても実際にフリー磁性層 2 6 内のセンス電流が流れ、磁気抵抗効果に関与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を小さくでき、よって光学的な素子サイズが大きい磁気検出素子を形成しても、再生出力の高い C P P 型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

## 【 0 1 2 4 】

なお、具体的には図 3 及び図 4 に示すトラック幅  $T w$  を、例えば  $0.15 \sim 0.3 \mu m$  に形成でき、またハイト方向の長さ  $M R h$  を、例えば  $0.15 \sim 0.3 \mu m$  に形成でき、よって光学的な素子面積を  $0.02 \sim 0.09 \mu m^2$  に大きく形成できる。

## 【 0 1 2 5 】

また本発明では、実効的な素子面積は、 $0.01 \mu m^2$  以下であることが好ましい。実効的な素子面積の求め方としては、例えば光学的な素子面積（ $T w \times M R h$ ）に、孔 5 6 の開口率をかけて求めることができる。これは、GMR 膜単独

の抵抗値と、電極を含んだ素子全体の抵抗値との差から概略で求めることができる。

【 0 1 2 6 】

また電流制限層 5 4 を膜面と平行な平面から見たときに、開口部（孔 5 6）の割合は 1 0 % ～ 3 0 % 程度であることが好ましい。

【 0 1 2 7 】

また本発明では、光学的な素子面積を大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を有効に磁気検出素子で検出することができ、感度の良い再生特性に優れた C P P 型磁気検出素子を製造することができる。

【 0 1 2 8 】

また本発明では電流制限層 5 4 の膜構成は図 3 のようなものに限らず、例えば他に図 4 のような膜構成を提示できる。

【 0 1 2 9 】

図 4 に示す電流制限層 5 4 の絶縁材料膜 5 7 には、電流制限層 5 4 を膜面と平行な方向から見たときに、連続して延びる溝 6 8 が形成され、この溝 6 8 は電流制限層 5 4 の上面から下面にまで通じて形成されている。溝 6 8 の平面形状は細長の曲線であったり、途中で枝別れしているが、形状はどのようなものであってもよい。そして溝 6 8 内及び絶縁材料膜 5 7 上に導電材料膜 5 8 が形成されている。この図 3 と図 4 との絶縁材料膜 5 7 の形状の違いは薄膜の核成長の違いによるものである。薄膜（絶縁材料膜 5 7 あるいは絶縁材料膜 5 7 の基になる層）は、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 上でまず島状に成長していき、さらに成長させると、これら島どうしがくっつきはじめ、図 4 のような連続して延びる溝 6 8 を形成する。

【 0 1 3 0 】

すなわち薄膜の成長をどの段階で止めるかによって、電流制限層 5 4 の平面形状は変化していく。ここで重要なのは、電流制限層 5 4 を構成する絶縁材料膜 5 7 に下面から上面にかけて貫通する孔 5 6 あるいは溝 6 8 が適切に形成されていることである。このような孔 5 6 あるいは溝 6 8 が貫通して形成されていると、この孔 5 6 あるいは溝 6 8 内に埋め込まれた導電材料膜 5 8 が電流を流す経路と



なり、適切に電流経路を絞り込むことができる。

【0131】

また図4のように、電流制限層54の絶縁材料膜57には、電流制限層54の上面から下面にまで通じる孔56と、膜面と平行な平面から見たときに連続して延び、電流制限層54の上面から下面にまで通じる溝68とが混在していてもよい。

【0132】

あるいは、導電材料膜58が独立した層として形成されず、絶縁材料膜57上にフリー磁性層26の第2磁性層55が直接積層されて、絶縁材料膜57に形成された孔56または溝68内に埋めこまれてもよい。第2磁性層55が、絶縁材料膜57に形成された孔56または溝68内に埋めこまれると、第1磁性層53と第2磁性層55が直接接触し、第1磁性層53及び第2磁性層55が強磁性的に結合する。その結果、第1磁性層53の磁化方向と第2磁性層55の磁化方向が平行方向を向く。

【0133】

図3及び図4に示す電流制限層54は、複数の孔56または溝68が形成された絶縁材料膜57と、この孔56または溝68を埋める導電材料膜58とで構成されているが、以下の膜構成を有する電流制限層54でも良い。

【0134】

例えば絶縁材料のターゲットと導電性材料のターゲットを用意し、これら2つのターゲットを同時にスパッタすることで、フリー磁性層26の第1磁性層53上に絶縁材料の粒子と導電性材料の粒子とが混在した電流制限層54を形成することができる。

【0135】

具体的には、電流制限層54の導電部が導電性粒子であり、導電性粒子は絶縁部となる絶縁材料膜内に分散されている膜構成を提供することができる。

【0136】

上記膜構成を有する電流制限層54を例示すると、Feを主成分とした導電部となる微結晶粒が、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素か

ら選ばれる 1 種または 2 種以上の元素 M と、O あるいは N との化合物を含む絶縁部となる非晶質中に分散された膜構成である。

## 【 0 1 3 7 】

この電流制限層 5 4 では、 $Fe_aM_bO_c$  の組成式を有し、組成比 a、b、c は原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$  であり、 $a + b + c = 100$  なる関係を満たすことが好ましい。

## 【 0 1 3 8 】

あるいは電流制限層 5 4 では、 $Fe_dM_eN_f$  の組成式を有し、組成比 d、e、f は原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$  であり、 $d + e + f = 100$  なる関係を満たすことが好ましい。

## 【 0 1 3 9 】

上記の電流制限層 5 4 の形成は、例えば Fe のターゲットと、 $HfO_2$  のターゲットの 2 つを用意し、これら 2 つのターゲットをスパッタする。これにより、非晶質相のマトリックスの内部に bcc Fe を主成分とした微結晶粒が多数析出された電流制限層 5 4 を形成することができる。

## 【 0 1 4 0 】

なお上記したスパッタ成膜では、例えば、RF スパッタ法、RF マグネトロンスパッタ法、DC マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれか、またはそれらを組み合わせたスパッタ法などを使用できる。

## 【 0 1 4 1 】

あるいは本発明では、電流制限層 5 4 を構成する絶縁材料膜は主として Co が酸化された層であり、この絶縁材料膜内に、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Ag のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料で形成された導電性粒子が分散している、電流制限層 5 4 を形成することができる。

## 【 0 1 4 2 】

あるいは、電流制限層 5 4 の絶縁部は絶縁性粒子であり、絶縁性粒子は、導電部となる導電材料膜内に分散されている膜構成であってもよい。

## 【 0 1 4 3 】

なお上記した導電性粒子にはCuなどの一般的な導電性材料を使用でき、絶縁性粒子には、 $Al_2O_3$ などの一般的な絶縁性材料を使用することもできる。

## 【 0 1 4 4 】

また上記したように導電性粒子を混在させたいいわゆるグラニュー膜で電流制限層54を形成するときは、導電性粒子の粒径より電流制限層54の膜厚が薄くないと、導電性粒子がセンス電流の電流経路として適切に機能せず、再生出力等の再生特性の悪化を招く。

## 【 0 1 4 5 】

図1に示される磁気検出素子では、フリー磁性層26の内部に電流制限層54が形成されることになるので、フリー磁性層26内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

## 【 0 1 4 6 】

したがって、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層26の素子面積（光学的な素子面積）を $0.01\mu m^2$ 以上に形成しても実際にフリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に関与する素子面積（実効的な素子面積）を確実に小さくでき、 $\Delta R$ が大きく、再生出力の高いC P P型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

## 【 0 1 4 7 】

またフリー磁性層の素子面積を $0.01\mu m^2$ 以上に大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

## 【 0 1 4 8 】

また、図1に示されるような、デュアルスピバルブ型の磁気検出素子は、電気抵抗の絶対値が大きくなるのでC P P型の磁気検出素子の磁界検出出力（再生感度）を向上させるのに適している。

## 【 0 1 4 9 】

図5は本発明における第2実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 1 5 0 】

図 5 に示す磁気検出素子も、いわゆるデュアル型のスピバルブ型薄膜素子であり、図 1 に示された磁気検出素子と同様に、第 1 の電極層 2 0、下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、磁性層 5 0、5 2、中間層 5 1 からなる固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、フリー磁性層 2 6、非磁性材料層 2 7、磁性層 6 0、6 2、中間層 6 1 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 8、反強磁性層 2 9、及び第 2 の電極層 3 0 が順次積層されている。図 1 と同じ符号が付けられた層は図 1 と同じ層を示している。

## 【 0 1 5 1 】

図 5 に示された磁気検出素子は、フリー磁性層 2 6 に縦バイアスを与える方式が、図 1 に示された磁気検出素子と異なっている。

## 【 0 1 5 2 】

図 5 に示される磁気検出素子では、フリー磁性層 2 6 の両側領域にハードバイアス層が形成されず、かわりに第 1 の電極層 2 0 と下地層 2 1 の間にインスタックバイアス層 8 0 が、さらに、上側の反強磁性層 2 9 上に、中間層 8 1 を介してインスタックバイアス層 8 2 が形成されている。インスタックバイアス層 8 0 からインスタックバイアス層 8 2 まで重ねられた各層によって多層膜 T 2 が形成されている。

## 【 0 1 5 3 】

これらのインスタックバイアス層 8 0、8 2 は C o P t などの硬磁性材料によって形成され、図示 X と反平行方向に着磁されている。なお、インスタックバイアス層 8 0 と第 1 の電極層 2 0 の間及びインスタックバイアス層 8 2 と中間層 8 1 の間に、C r や W からなる下地層が形成されてもよい。

## 【 0 1 5 4 】

この実施形態では、インスタックバイアス層 8 0 及びインスタックバイアス層 8 2 の両側端部からフリー磁性層 2 6 に向けて縦バイアス磁界（静磁界）が供給され（矢印 M で示す）、フリー磁性層 2 6 の磁化（第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5）が図示 X 方向に向けられている。

## 【 0 1 5 5 】

中間層 8 1 は、非磁性導電材料で形成されることが好ましい。具体的には、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu、Taのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。

#### 【0156】

また、中間層 8 1 は、例えば $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料で形成されてもよいが、かかる場合、中間層 8 1 を薄く形成して、第 1 の電極層 2 0 と第 2 の電極層 3 0 間に流れるセンス電流が、中間層 8 1 の部分で遮断されないようにすることが必要である。中間層 8 1 の膜厚は 2 0 ～ 1 0 0 Å で形成されることが好ましい。

#### 【0157】

図 5 のように、インスタックバイアス層 8 0 及びインスタックバイアス層 8 2 を設ける構造であると、フリー磁性層 2 6 の両側にハードバイアス層を設ける場合に比べて、フリー磁性層 2 6 が強固に磁化されることがなくフリー磁性層 2 6 の磁区制御を適正化でき、フリー磁性層 2 6 の外部磁界に対する磁化変動を良好にすることが可能である。

#### 【0158】

また図 5 に示す実施形態では、インスタックバイアス層 8 0 及びインスタックバイアス層 8 2 までの多層膜 T 2 の両側端面 S 2，S 2 の両側領域にはアルミナまたは $SiO_2$ からなる絶縁層 8 3，8 3 のみが形成されている。したがって第 1 の電極層 2 0 と第 2 の電極層 3 0 間に流れるセンス電流の分流ロスを低減させることが可能である。

#### 【0159】

図 5 に示される磁気検出素子でも、図 1 に示される磁気検出素子と同様に、電流制限層 5 4 を介して第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 が強磁性的に結合して、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が平行方向を向くことが好ましい。

#### 【0160】

特に、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 間の強磁性結合が弱い場合であっても、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向を平行方向に向かせる

ために、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の材料及び膜厚を等しくして、単位面積当たりの磁気モーメントを等しくさせることが好ましい。

【0 1 6 1】

ただし、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 が磁氣的に分断されていても、インスタックバイアス層 8 0 及びインスタックバイアス層 8 2 から与えられる静磁界が十分な大きさであれば、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向を平行方向に向けることができる。

【0 1 6 2】

図 5 に示される磁気検出素子では、第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化を平行方向に向かせやすくするために、2 層のインスタックバイアス層 8 0 及びインスタックバイアス層 8 2 を形成している。ただし、インスタックバイアス層 8 0 及びインスタックバイアス層 8 2 のどちらか一方のみ形成されても、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 に縦バイアス磁界を供給することは可能である。

【0 1 6 3】

また、図 1 と同様に、固定磁性層 2 4 のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層 5 2 が、例えばハイト方向（図示 Y 方向）に固定され、フリー磁性層 2 6 よりも上側に形成された固定磁性層 2 8 のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層 6 0 も、ハイト方向（図示 Y 方向）に固定されるように、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_3$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_4$  より小さくし、また、固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 と磁性層 6 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 6 2 の膜厚  $t_5$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_6$  より小さくしている。

【0 1 6 4】

図 5 に示される磁気検出素子も、フリー磁性層 2 6 内に電流制限層 5 4 が形成されており、図 1 に示される磁気検出素子と同等の効果を奏することができる。

【0 1 6 5】

図 6 は本発明における第 3 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 1 6 6 】

図 6 に示される磁気検出素子は、図 1 に示される磁気検出素子に類似している。図 6 に示される磁気検出素子は、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 の磁化方向と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が反平行方向を向いている点で図 1 に示される磁気検出素子と異なっている。

## 【 0 1 6 7 】

なお、図 1 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 1 と同じ材料及び膜厚で形成された同一の層である。

## 【 0 1 6 8 】

図 6 に示される磁気検出素子では、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の強磁性結合が弱くなっている。すなわち、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 は直接接触しておらず、また、第 1 磁性層 5 3 の表面と第 2 磁性層 5 5 の表面に形成されるうねりも小さくトポロジカルカップリングも生じにくくなっている。

## 【 0 1 6 9 】

フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の強磁性結合が弱くなると、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 は、磁化方向を互いに反平行にし、それぞれの端部 5 3 a, 5 3 a と端部 5 5 a, 5 5 a 間に静磁結合を発生させることによってエネルギー的な安定化を図る。

## 【 0 1 7 0 】

また、図 6 に示される磁気検出素子のフリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 は、図 1 の磁気検出素子と同様に同じ材料で作られているが、第 1 磁性層 5 3 の膜厚  $t_7$  と第 2 磁性層 5 5 の膜厚  $t_8$  は異なっている。従って、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 は、単位面積当たりの磁気モーメントが互いに異なっており、これによって、第 1 磁性層 5 3 の磁化と第 2 磁性層 5 5 の磁化の反平行状態をより安定なものにしている。

## 【 0 1 7 1 】

なお、図 6 の磁気検出素子において、第 1 磁性層 5 3 の膜厚  $t_7$  は例えば 10 Å ~ 70 Å、磁性層 5 5 の膜厚  $t_8$  は例えば 20 Å ~ 100 Å である。

## 【 0 1 7 2 】

また、図 6 の磁気検出素子は、ハードバイアス層 3 3, 3 3 によって、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 が単磁区化されるものであるが、本実施の形態のように第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が互いに反平行方向を向くものであるときは、ハードバイアス層 3 3, 3 3 の内側端面 3 3 a, 3 3 a が、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 のいずれか一方の端部とのみ対向していることが好ましい。図 6 では、ハードバイアス層 3 3, 3 3 の内側端面 3 3 a, 3 3 a が第 2 磁性層 5 5 の端部 5 5 a, 5 5 a にのみ対向している。これによって、ハードバイアス層 3 3, 3 3 から供給されるトラック幅方向（図示 X 方向）の縦バイアス磁界は第 2 磁性層 5 5 にのみ直接作用し、トラック幅方向と反平行方向の磁化を有する第 1 磁性層 5 3 の磁化に乱れが生じることを抑制または防止できる。

## 【 0 1 7 3 】

また、図 6 の磁気検出素子のように、第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が互いに反平行方向を向いているものであるときには、下地層 2 1 から反強磁性層 2 9 までの多層膜 T 3 が磁気抵抗効果を発揮できるように、フリー磁性層 2 6 よりも下側に形成された固定磁性層 2 4 のうち磁気抵抗効果に關与する磁性層 5 2 が、例えばハイト方向（図示 Y 方向）に固定されていた場合、フリー磁性層 2 6 よりも上側に形成された固定磁性層 2 8 のうち磁気抵抗効果に關与する磁性層 6 0 が、ハイト方向（図示 Y 方向）と反平行方向に固定される必要がある。

## 【 0 1 7 4 】

磁性層 5 2 と磁性層 6 0 の磁化方向が平行方向を向いていると、フリー磁性層 2 6 の第 2 磁性層 5 5 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 間で生じる磁気抵抗効果とフリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と固定磁性層 2 4 の磁性層 5 2 間で生じる磁気抵抗効果が互いに打ち消しあって、外部磁界を検出することができなくなってしまう。

## 【 0 1 7 5 】

図 6 に示される磁気検出素子では、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_9$  を磁性層 5 2 の膜



厚  $t_{10}$  より小さく ( $t_9 < t_{10}$ ) し、また、固定磁性層 28 の磁性層 60 と磁性層 62 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 62 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 60 の膜厚  $t_{11}$  より大きく ( $t_{12} > t_{11}$ ) している。

## 【 0 1 7 6 】

これによって、磁性層 50 の単位面積当たりの磁気モーメント < 磁性層 52 の単位面積当たりの磁気モーメント、かつ磁性層 62 の単位面積当たりの磁気モーメント > 磁性層 60 の単位面積当たりの磁気モーメントとし、図 6 の磁気検出素子を製造するときに、スピントロニック磁界の大きさより弱い磁場中の磁場中アニールを 1 回行うだけで、磁性層 52 と磁性層 60 の磁化方向を反平行にすることができる。

## 【 0 1 7 7 】

なお、磁性層 50 の膜厚  $t_9$  を磁性層 52 の膜厚  $t_{10}$  より大きく ( $t_9 > t_{10}$ ) し、また、磁性層 62 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 60 の膜厚  $t_{11}$  より小さく ( $t_{12} < t_{11}$ ) しても、1 回の磁場中アニールによって、磁性層 52 と磁性層 60 の磁化方向を反平行にすることができる。

## 【 0 1 7 8 】

また、固定磁性層 24 の磁性層 52 と固定磁性層 28 の磁性層 60 の磁化方向を反平行にする他の方法として以下に示す製造方法を用いることができる。

## 【 0 1 7 9 】

まず、第 1 の電極層 20 上に下地層 21、シード層 22、反強磁性層 23、固定磁性層 24、非磁性材料層 25、フリー磁性層 26 の第 1 磁性層 53 及び電流制限層 54 までを成膜した後、例えばハイト方向の磁場中で、第 1 の磁場中アニールを施す。次に、電流制限層 54 の上に、フリー磁性層 26 の第 2 磁性層 55、非磁性材料層 27、固定磁性層 28 及び反強磁性層 29 を積層し、第 1 の磁場中アニール時の磁場の方向と反平行方向の磁場で第 2 の磁場中アニールをする。

## 【 0 1 8 0 】

なお、磁性層 62 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 60 の膜厚  $t_{11}$  より小さく ( $t_{12} < t_{11}$ ) した状態で、第 1 の磁場中アニールを固定磁性層 24 の飽和磁界よりも大きい磁場中に行ったときは、第 2 の磁場中アニールを、固定磁性層 24 及び

固定磁性層 2 8 のスピントロップ磁界の大きさより弱く、第 1 の磁場中アニールの磁場方向と同じ方向の磁場中で行う。

【0 1 8 1】

2 回の磁場中アニールを行う方法であれば、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_9$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_{10}$  以上にし ( $t_9 \geq t_{10}$ )、また、固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 と磁性層 6 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 6 2 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_{11}$  以上 ( $t_{12} \geq t_{11}$ ) にしても、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 2 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 の磁化方向を反平行にすることができる。または、磁性層 5 0 の膜厚  $t_9$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_{10}$  以下にし ( $t_9 \leq t_{10}$ )、また、磁性層 6 2 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_{11}$  以下 ( $t_{12} \leq t_{11}$ ) にした場合でも同様である。

【0 1 8 2】

$t_9 \geq t_{10}$  かつ  $t_{12} \geq t_{11}$ 、または  $t_9 \leq t_{10}$  かつ  $t_{12} \leq t_{11}$  の構成であると、下側の反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 4 間の一方向性異方性磁界  $H_{ex*}$  と上側の反強磁性層 2 9 と固定磁性層 2 8 間の一方向性異方性磁界  $H_{ex*}$  の大きさを同程度の値に合わせやすくなる。

【0 1 8 3】

図 6 に示される磁気検出素子も、フリー磁性層 2 6 内に電流制限層 5 4 が形成されており、図 1 に示される磁気検出素子と同等の効果を奏することができる。

【0 1 8 4】

図 7 は本発明における第 4 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0 1 8 5】

図 7 に示された磁気検出素子は図 6 に示された磁気検出素子に類似しており、フリー磁性層 2 6 に縦バイアスを与える方式が、図 6 に示された磁気検出素子と異なっている。

【0 1 8 6】

なお、図 6 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 6 と同じ材料及

び膜厚で形成された同一の層である。

【0187】

図7に示される磁気検出素子では、フリー磁性層26の両側領域にハードバイアス層が形成されず、かわりに上側の反強磁性層29上に、中間層81を介してインスタックバイアス層82が形成されている。下地層21からインスタックバイアス層82まで重ねられた各層によって多層膜T4が形成されている。

【0188】

このインスタックバイアス層82はC o P tなどの硬磁性材料によって形成され、図示X方向と反平行方向に着磁されている。なお、インスタックバイアス層82と中間層81の間に、C rからなる下地層が形成されてもよい。中間層81の材料は、図5の磁気検出素子の中間層81と同じである。

【0189】

この実施形態では、インスタックバイアス層82の両側端部からフリー磁性層26に向けて縦バイアス磁界（静磁界）が供給され（矢印Mで示す）、フリー磁性層26の第2磁性層55の磁化が図示X方向に向けられている。

【0190】

図7に示される磁気検出素子では、フリー磁性層26の第1磁性層53と第2磁性層55の強磁性結合が弱くなっている。すなわち、第1磁性層53と第2磁性層55は直接接触しておらず、また、第1磁性層53の表面と第2磁性層55の表面に形成されるうねりも小さくトポロジカルカップリングも生じにくくなっている。

【0191】

フリー磁性層26の第1磁性層53と第2磁性層55の強磁性結合が弱くなると、第1磁性層53と第2磁性層55は、磁化方向を互いに反平行にし、それぞれの端部53a、53aと端部55a、55a間に静磁結合を発生させることによってエネルギー的な安定化を図る。

【0192】

このため、フリー磁性層26の第1磁性層53の磁化は、第2磁性層55の磁化と反平行方向（図示Xと反平行方向）を向く。

## 【 0 1 9 3 】

また、図 7 に示される磁気検出素子のフリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 は、図 1 の磁気検出素子と同様に同じ材料で作られているが、第 1 磁性層 5 3 の膜厚  $t_7$  と第 2 磁性層 5 5 の膜厚  $t_8$  は異なっている。図 7 では、インスタックバイアス層 8 2 に近い第 2 磁性層 5 5 の膜厚  $t_8$  を第 1 磁性層 5 3 の膜厚  $t_7$  より大きくしている ( $t_8 > t_7$ )。

## 【 0 1 9 4 】

これによって、第 2 磁性層 5 5 の単位面積当たりの磁気モーメントが、第 1 磁性層 5 3 の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなり、第 2 磁性層 5 5 の磁化がインスタックバイアス層 8 2 から与えられる縦バイアス磁界と同じ方向を向いている状態を安定化させている。

## 【 0 1 9 5 】

図 7 に示されるインスタックバイアス層 8 0 が設けられた磁気検出素子は、図 5 に示された磁気検出素子と同様に、フリー磁性層 2 6 が強固に磁化されることがなくフリー磁性層 2 6 の磁区制御を適正化でき、フリー磁性層 2 6 の外部磁界に対する磁化変動を良好にすることが可能である。また多層膜 T 4 の両側端面 S 4，S 4 の両側領域にはアルミナまたは  $\text{SiO}_2$  からなる絶縁層 8 3，8 3 のみが形成されている。したがってセンス電流の分流ロスを低減させることが可能である。

## 【 0 1 9 6 】

また、図 7 の磁気検出素子も、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が互いに反平行方向を向いているので、多層膜 T 4 が磁気抵抗効果を発揮できるように、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 2 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 の磁化方向を反平行方向に固定する必要がある。

## 【 0 1 9 7 】

固定磁性層 2 4 の磁性層 5 2 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 の磁化方向を反平行方向に固定するための固定磁性層 2 4 と固定磁性層 2 8 の構成及び製造方法は、図 6 に示される磁気検出素子のところで説明した固定磁性層 2 4 と固定磁性層 2 8 の構成及び製造方法と同じである。

## 【 0 1 9 8 】

なお、図 7 に示される磁気検出素子は、上側の反強磁性層 2 9 上にのみインスタックバイアス層 8 2 を形成しているが、下側の反強磁性層 2 3 の下にインスタックバイアス層を設けてもよいし、反強磁性層 2 9 上と反強磁性層 2 3 の下の両方にインスタックバイアス層を設けてもよい。

## 【 0 1 9 9 】

ただし、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 の磁化方向が反平行になるときは、上側の反強磁性層 2 9 の上または下側の反強磁性層 2 3 の下のどちらか一方にのみインスタックバイアス層を設けることが好ましい。その上で、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 のうち、インスタックバイアス層に近い方の膜厚を厚くすることがより好ましい。

## 【 0 2 0 0 】

図 7 に示される磁気検出素子も、フリー磁性層 2 6 内に電流制限層 5 4 が形成されており、図 6 に示される磁気検出素子と同等の効果を奏することができる。

## 【 0 2 0 1 】

図 8 は本発明における第 5 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 2 0 2 】

図 8 に示された磁気検出素子は図 7 に示された磁気検出素子に類似しており、フリー磁性層 8 4 の構造、及び固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0、磁性層 5 2 の磁化方向並びに固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0、磁性層 6 2 の磁化方向が、図 7 に示された磁気検出素子と異なっている。

## 【 0 2 0 3 】

なお、図 7 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 7 と同じ材料及び膜厚で形成された同一の層である。

## 【 0 2 0 4 】

この実施形態でも、インスタックバイアス層 8 2 の両側端部からフリー磁性層 8 4 に向けて縦バイアス磁界（静磁界）が供給され（矢印 M で示す）、フリー磁性層 8 4 の第 2 磁性層 5 5 の磁化が図示 X 方向に向けられている。

## 【0205】

図8では、フリー磁性層84の第1磁性層70が、磁性層71、非磁性中間層72、磁性層73が積層された積層フェリ構造となっている。磁性層71、磁性層73は、NiFe合金、CoFe合金、Co、CoNiFe合金などにより形成される。また、非磁性中間層72は、Ru、Rh、Ir、Os、Re、Cr、Cuのうちいずれか1種または2種以上の非磁性材料によって形成される。

## 【0206】

図8に示される磁気検出素子では、電流制限層54を介した磁性層73と第2磁性層55の強磁性結合が弱くなっており、磁性層73と第2磁性層55が、磁化方向を互いに反平行にして静磁的に結合し、エネルギー的な安定化を図っている。

## 【0207】

ここで、第1磁性層70の磁性層73と磁性層71は非磁性中間層72を介したRKKY相互作用によって反強磁性的に結合しており、磁性層73と磁性層71の磁化方向は反平行方向を向いている。

## 【0208】

すなわち、フリー磁性層84の最上層である第2磁性層55と最下層である磁性層71の磁化方向は、平行方向を向くことになる。

## 【0209】

従って、固定磁性層24のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層52と固定磁性層28のうち磁気抵抗効果に関与する磁性層60の磁化方向が平行方向を向いていても、下地層21からインスタックバイアス層82までの多層膜T5が磁気抵抗効果を発揮できる。

## 【0210】

図8に示される磁気検出素子では、図1及び図5に示される磁気検出素子と同様に、固定磁性層24の磁性層50と磁性層52を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層50の膜厚 $t_3$ を磁性層52の膜厚 $t_4$ より小さくし、また、固定磁性層28の磁性層60と磁性層62を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層62の膜厚 $t_5$ を磁性層60の膜厚 $t_6$ より小さくしている。

## 【 0 2 1 1 】

これによって、磁性層 5 0 の単位面積当たりの磁気モーメント<磁性層 5 2 の単位面積当たりの磁気モーメント、かつ磁性層 6 2 の単位面積当たりの磁気モーメント<磁性層 6 0 の単位面積当たりの磁気モーメントとし、図 8 の磁気検出素子を製造するときに、1 回の磁場中アニールによって、磁性層 5 2 及び磁性層 6 0 をハイト方向（図示 Y 方向）に固定することができる。

## 【 0 2 1 2 】

なお、図 8 に示される磁気検出素子では、フリー磁性層 8 4 の第 2 磁性層 5 5、磁性層 7 3、及び磁性層 7 1 は同じ材料で作られており、第 2 磁性層 5 5 の膜厚  $t_{13}$ 、磁性層 7 3 の膜厚  $t_{14}$  及び磁性層 7 1 の膜厚  $t_{15}$  の大きさの関係を、膜厚  $t_{13} > \text{膜厚 } t_{14} > \text{膜厚 } t_{15}$  とし、磁化状態を安定化させている。

## 【 0 2 1 3 】

なお、図 8 に示される磁気検出素子は、上側の反強磁性層 2 9 上にのみインスタックバイアス層 8 2 を形成しているが、下側の反強磁性層 2 3 の下にインスタックバイアス層を設けてもよいし、反強磁性層 2 9 上と反強磁性層 2 3 の下の両方にインスタックバイアス層を設けてもよい。あるいは、インスタックバイアス層 8 2 の代わりに、図 6 に示されたようなハードバイアス層 3 3、3 3 を設け、これによってフリー磁性層 2 6（特に第 2 磁性層 5 5）に縦バイアス磁界を供給してもよい。

## 【 0 2 1 4 】

また、第 1 磁性層 7 0 が単層の磁性層であって、第 2 磁性層 5 5 が積層フェリ構造になってもよい。

## 【 0 2 1 5 】

図 8 に示される磁気検出素子も、フリー磁性層 8 4 内に電流制限層 5 4 が形成されており、図 7 に示される磁気検出素子と同等の効果を奏することができる。

## 【 0 2 1 6 】

図 9 は本発明における第 6 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 2 1 7 】

図 9 に示された磁気検出素子は図 1 に示された磁気検出素子に類似しており、電流制限層 5 4 と第 1 磁性層 5 3 の間及び電流制限層 5 4 と第 2 磁性層 5 5 の間に、それぞれ貴金属材料層 7 4 及び貴金属材料層 7 5 が形成されている点で、図 1 に示された磁気検出素子と異なっている。

## 【 0 2 1 8 】

なお、図 1 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 1 と同じ材料及び膜厚で形成された同一の層である。

## 【 0 2 1 9 】

貴金属材料層 7 4、貴金属材料層 7 5 は、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料で形成されている。また、貴金属材料層 7 4、7 5 の代わりに Cu 層が形成されてもよい。

## 【 0 2 2 0 】

また、貴金属材料層 7 4、7 5 はどちらか一方のみ形成されていてもよい。

電流制限層 5 4 は、開口部（孔）と非開口部（絶縁材料膜）との導電率のコントラストが高いことが重要である。そうでないと電極層から流れるセンス電流が適切に開口部で絞り込められず、見かけ上の  $\Delta R * A$ （抵抗変化量 \* 素子面積）の向上を図れないからである。

## 【 0 2 2 1 】

すなわち電流制限層 5 4 を構成する絶縁材料膜を形成する際に、この絶縁材料膜が例えば島状のように凝集して形成されるようにする必要があるのである。上記した開口部は微細なサイズでランダムに且つ均一に混在していることが必要であるが、このような制御を行うのに重要な一つの要素は、材質やスパッタ条件であり、もう一つが電流制限層 5 4 の下に形成される下地の表面エネルギー（ $\gamma_s$ ）である。

## 【 0 2 2 2 】

下地の表面エネルギーが高いと、薄膜の成長モードは完全濡れモードになりやすく、単層成長（FM モード）しやすくなる。日本応用磁気学会誌「薄膜成長プロセス概論」Vol. 14, No. 3, 1990 の第 528 頁には「 $\gamma_s > \gamma_{fs} + \gamma_f$ 」（ここで  $\gamma_{fs}$  は、基板と薄膜の界面エネルギー、 $\gamma_f$  は、薄膜の表



面エネルギー)の関係式が成り立つと、完全濡れモードになり単層成長することが記載されている。

【0223】

このため単層成長しにくくし、すなわち基板上に形成される薄膜が島状のように点在して形成されるようにするには、基板の表面エネルギー( $\gamma_s$ )を低下させることが必要である。

【0224】

本発明では、この点に鑑み、電流制限層54の下に表面エネルギーが低い貴金属元素からなる貴金属材料層74を敷くことにしたのである。貴金属材料層74の表面エネルギーはその下に形成された磁気検出素子表面の表面エネルギーよりも低いことが必要である。

【0225】

貴金属材料層74上に電流制限層54を形成すると、電流制限層54を構成する絶縁材料膜(あるいは絶縁材料膜となるべき層)は貴金属材料層74上で島状のように凝集して成長していく。この成長モードをVolmer-Weber(VW)型成長と呼ぶ。

【0226】

また貴金属元素からなる貴金属材料層74を敷くことで、例えば貴金属材料層74上に金属膜を島状に凝集させ、この金属膜を酸化して酸化物の絶縁材料膜を形成する際に、酸化の影響が貴金属材料層74の部分で食い止められ、それより下の層に酸化の影響が及ばない。もし、第1磁性層53が酸化すると、軟磁気特性が劣化し、またその酸化部位で伝導電子が散乱して、電流密度が均一になってしまう。

【0227】

このため電流制限層54を構成する絶縁材料膜は適切に例えば島形状のまま保たれ、開口部と非開口部とのコントラストを高く保つことが可能である。

【0228】

また電流制限層54上に貴金属元素からなる貴金属材料層75が形成されているが、貴金属材料層75を設けることで、電流制限層54を形成後、熱処理を施

しても電流制限層 5 4 上の層に酸素の拡散が起こらず、電流制限層 5 4 の開口部と非開口部とのコントラストを高く保つことができる。

【 0 2 2 9 】

このように図 9 に示す実施形態によれば、電流制限層 5 4 の上下を貴金属元素からなる層でサンドイッチすることで、電流制限層 5 4 の開口部と非開口部とのコントラストを高く保つことができ、よって  $\Delta R * A$  を向上させることができ再生出力の高い再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能になるのである。

【 0 2 3 0 】

また貴金属材料層 7 4 及び貴金属材料層 7 5 の存在は、透過電子顕微鏡 (T E M) で見る事が可能である。

【 0 2 3 1 】

なお、貴金属材料層 7 4 の膜厚  $t_{16}$  及び貴金属材料層 7 5 の膜厚  $t_{17}$  を  $2 \text{ \AA} \sim 10 \text{ \AA}$  にすると、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 を強磁性的に結合させることが可能になる。なお、電流制限層 5 4 の上下に貴金属材料層 7 4 及び貴金属材料層 7 5 を積層する構成は、図 5 ないし図 8 に示された磁気検出素子及び後述する図 1 0 ないし図 1 4 に示される磁気検出素子にも用いることができる。

【 0 2 3 2 】

上述した実施の形態の磁気検出素子は、すべてフリー磁性層の上下に非磁性材料層及び固定磁性層が形成されているデュアル型のスピバルブ型磁気検出素子であった。しかし、本発明における、フリー磁性層を電流制限層を介して積層された複数の磁性層によって形成するという構成は、フリー磁性層の上または下のいずれか一方にのみ非磁性材料層及び固定磁性層が形成されているシングル型のスピバルブ型磁気検出素子に適用しても効果を発揮できる。

【 0 2 3 3 】

図 1 0 から図 1 2 は、それぞれ本発明の第 7 から第 9 の実施の形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。第 7 から第 9 の実施の形態の磁気検出素子は、シングル型のスピバルブ型磁気検出素子である

## 【 0 2 3 4 】

図 1 0 に示された磁気検出素子は、第 1 の電極層 2 0 の中央上面に、下から下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、磁性層 5 0 と 5 2 とその間に形成された Ru などの中間層 5 1 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、第 1 磁性層 5 3、電流制限層 5 4、第 2 磁性層 5 5 からなるフリー磁性層 2 6、及び保護層 9 0 からなる多層膜 T 6 が形成されているものであり、いわゆるボトムスピバルブ型の磁気検出素子である。

## 【 0 2 3 5 】

また、多層膜 T 6 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域には、絶縁層 3 1、3 1、バイアス下地層 3 2、3 2、ハードバイアス層 3 3、3 3、絶縁層 3 4、3 4 が順次積層形成されている。

## 【 0 2 3 6 】

さらに、絶縁層 3 4、3 4 及び保護層 9 0 上には、第 2 電極層 3 0 が形成されている。

## 【 0 2 3 7 】

図 1 0 に示された磁気検出素子の T 6 は、図 1 に示された磁気検出素子の多層膜 T 1 のフリー磁性層 2 6 より下側（下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、3 層フェリ構造の固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、内部に電流制限層が存在しているフリー磁性層 2 6）と同じ積層構造であり、図 1 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 1 と同じ材料及び膜厚で形成されている。

## 【 0 2 3 8 】

保護層 9 0 は、Ta または、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料で形成されている。なお、絶縁層 3 4、3 4 の膜厚は、図 1 の磁気検出素子より薄くなっている。

## 【 0 2 3 9 】

図 1 1 に示された磁気検出素子は、第 1 の電極層 2 0 の中央上面に、下から下地層 9 1、第 2 磁性層 5 5、電流制限層 5 4、第 1 磁性層 5 3 からなるフリー磁性層 2 6、非磁性材料層 2 5、磁性層 5 2 と 5 0 とその間に形成された Ru など

の中間層 5 1 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 4、反強磁性層 2 3 からなる多層膜 T 7 が形成されているものであり、いわゆるトップスピバルブ型の磁気検出素子である。

## 【 0 2 4 0 】

また、多層膜 T 7 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域には、絶縁層 3 1，3 1、バイアス下地層 3 2，3 2、ハードバイアス層 3 3，3 3、絶縁層 3 4，3 4 が順次積層形成されている。さらに、絶縁層 3 4，3 4 及び反強磁性層 2 3 上には、第 2 電極層 3 0 が形成されている。

## 【 0 2 4 1 】

図 1 1 に示された磁気検出素子の多層膜 T 7 は、図 1 0 に示された磁気検出素子の多層膜 T 6 の積層順序を逆にしたものであり、図 1 0 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 1 0 と同じ材料及び膜厚で形成されている。

## 【 0 2 4 2 】

なお、下地層 9 1 は、T a で形成されており、第 2 磁性層 5 5 及びその上の層の結晶配向を整えてフリー磁性層 2 6 の軟磁気特性を向上させるためのものである。

## 【 0 2 4 3 】

図 1 2 に示される磁気検出素子は、図 1 0 に示される磁気検出素子に類似しているが、フリー磁性層 2 6 の両側領域にハードバイアス層が形成されず、かわりにフリー磁性層 2 6 上に中間層 8 1 を介してインスタックバイアス層 8 2 が形成されている点で異なっている。下地層 2 1 からインスタックバイアス層 8 2 まで重ねられた各層によって多層膜 T 8 が形成されている。

## 【 0 2 4 4 】

このインスタックバイアス層 8 2 は C o P t などの硬磁性材料によって形成され、図示 X 方向と反平行方向に着磁されている。なお、インスタックバイアス層 8 2 と中間層 8 1 の間に、C r からなる下地層が形成されてもよい。中間層 8 1 の材料は、図 5 の磁気検出素子の中間層 8 1 と同じである。

## 【 0 2 4 5 】

この実施形態では、インスタックバイアス層 8 2 の両側端部からフリー磁性層

26に向けて縦バイアス磁界（静磁界）が供給され（矢印Mで示す）、フリー磁性層26の第2磁性層55と第1磁性層53の一方または両方の磁化が図示X方向と反平行方向に向けられている。

【0246】

図10から図12に示された実施の形態でも、電流制限層54を介して第1磁性層53及び第2磁性層55が直接接触またはトポロジカルカップリングすることにより強磁性的に結合して、第1磁性層53の磁化方向と第2磁性層55の磁化方向が平行方向を向くことが好ましい。

【0247】

また、第1磁性層53及び第2磁性層55の単位面積当たりの磁気モーメントがすべて等しいと、外部磁界が印加されたとき同一角度の磁化回転をしやすくなり、第1磁性層53の磁化方向と第2磁性層55の磁化方向が平行方向を向きやすくなる。

【0248】

ただし、図10及び図11に示される磁気検出素子では、フリー磁性層26の両側領域にハードバイアス層33、33が形成されており、第1磁性層53及び第2磁性層55の両方にトラック幅方向（図示X方向）の静磁界（縦バイアス磁界）が印加されており、このハードバイアス層33、33から与えられる静磁界が大きければ、第1磁性層53と第2磁性層55が磁氣的に分断されていても、または、第1磁性層53と第2磁性層55の単位面積当たりの磁気モーメントが異なっても、第1磁性層53の磁化方向と第2磁性層55の磁化方向を平行方向に向けることができる。

【0249】

一方、第1磁性層53及び第2磁性層55が直接接触せず、トポロジカルカップリングも弱いときには、第1磁性層53の磁化方向と第2磁性層55の磁化方向が反平行方向を向くことがある。

【0250】

第1磁性層53の磁化方向と第2磁性層55の磁化方向が反平行になるときには、第1磁性層53及び第2磁性層55の単位面積当たりの磁気モーメントを異

ならせることによって、エネルギー的な安定化を図ることが好ましい。また、ハードバイアス層 3 3, 3 3 の内側端面 3 3 a, 3 3 a を第 1 磁性層 5 3 と第 2 磁性層 5 5 のいずれか一方の両端部にのみ対向するように配置したり、インスタックバイアス層 8 2 に近い方の単位面積当たりの磁気モーメントを異ならせることがより好ましい。

#### 【 0 2 5 1 】

なお、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 が同じ組成の材料から形成されているときには、第 1 磁性層 5 3 の膜厚  $t_{18}$  及び第 2 磁性層 5 5 の膜厚  $t_{19}$  の大小により、第 1 磁性層 5 3 及び第 2 磁性層 5 5 の単位面積当たりの磁気モーメントの大小を規定できる。

#### 【 0 2 5 2 】

図 1 0 から図 1 2 に示されるシングルスピンバルブ型の磁気検出素子でも、フリー磁性層 2 6 の内部に電流制限層 5 4 が形成されることによって、フリー磁性層 2 6 内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

#### 【 0 2 5 3 】

したがって、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層 2 6 の素子面積（光学的な素子面積）を  $0.01 \mu m^2$  以上に形成しても実際にフリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に関与する素子面積（実効的な素子面積）を確実に小さくでき、 $\Delta R$  が大きく、再生出力の高い CPP 型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

#### 【 0 2 5 4 】

またフリー磁性層の素子面積を  $0.01 \mu m^2$  以上に大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

#### 【 0 2 5 5 】

図 1 3 は本発明における第 1 0 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

#### 【 0 2 5 6 】

図 1 3 に示された磁気検出素子は、これまで説明した磁気検出素子と異なり、フリー磁性層 9 2 と非磁性材料層 2 7 の間に電流制限層 9 3 が形成されている。

【 0 2 5 7 】

フリー磁性層 9 2 の下には、非磁性材料層 2 5、磁性層 5 0 と 5 2 とその間に形成された R u などの中間層 5 1 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 4、反強磁性層 2 3、シード層 2 2、下地層 2 1、第 1 の電極層 2 0 が形成されている。また、電流制限層 9 3 の上には、非磁性材料層 2 7、磁性層 6 0 と 6 2 とその間に形成された R u などの中間層 6 1 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 8、反強磁性層 2 9、及び第 2 の電極層 3 0 が順次積層されている。

【 0 2 5 8 】

また、下地層 2 1 から反強磁性層 2 9 までの多層膜 T 9 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域には、絶縁層 3 1、3 1、バイアス下地層 3 2、3 2、ハードバイアス層 3 3、3 3、絶縁層 3 4、3 4 が順次積層形成されている。

【 0 2 5 9 】

なお、図 1 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 1 と同じ材料及び膜厚で形成された同一の層である。

【 0 2 6 0 】

フリー磁性層 9 2 は、N i F e 合金、C o F e 合金、C o、C o N i F e 合金などにより形成される。なお、フリー磁性層 9 2 は、拡散防止のための C o 膜や C o F e 膜の間に、N i F e 合金膜、C o N i F e 合金膜が形成される 3 層構造であることが好ましい。

【 0 2 6 1 】

また、フリー磁性層 9 2 は、複数の磁性材料層の間に非磁性材料からなる中間層が形成された積層フェリ型のフリー磁性層であってもよい。

【 0 2 6 2 】

電流制限層 9 3 は、これまで説明した磁気検出素子を構成していた電流制限層 5 4 と同じ構造を有するものである。なお、電流制限層がフリー磁性層 9 2 と下側の非磁性材料層 2 5 の間に形成されていてもよい。また、電流制限層 9 3 の上

下には、図 9 に示された磁気検出素子のように貴金属材料層が形成されていることが好ましい。

【 0 2 6 3 】

図 1 4 は本発明における第 1 1 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【 0 2 6 4 】

図 1 4 に示された磁気検出素子は、第 1 の電極層 2 0 の中央上面に、下から下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、磁性層 5 0 と 5 2 とその間に形成された Ru などの中間層 5 1 からなる 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、電流制限層 9 3、フリー磁性層 9 2、及び保護層 9 0 からなる多層膜 T 1 0 が形成されているものであり、いわゆるボトムスピン型の磁気検出素子である。

【 0 2 6 5 】

また、多層膜 T 1 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域には、絶縁層 3 1， 3 1、バイアス下地層 3 2， 3 2、ハードバイアス層 3 3， 3 3、絶縁層 3 4， 3 4 が順次積層形成されている。絶縁層 3 4， 3 4 と多層膜 T 1 0 の上には、第 2 の電極層 3 0 が形成されている。

【 0 2 6 6 】

図 1 3 と同じ符号で示される層は、特に説明がない限り図 1 3 と同じ材料で形成されている。なお、保護層 9 0 は、Ta または、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料で形成されている。また、絶縁層 3 4， 3 4 の膜厚は図 1 3 より薄くなっている。

【 0 2 6 7 】

図 1 3 及び図 1 4 に示される磁気検出素子では、フリー磁性層 9 2 と非磁性材料層 2 7 または非磁性材料層 2 5 との間に電流制限層 9 3 が形成されることによって、フリー磁性層 9 2 内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

【 0 2 6 8 】

したがって、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層 9 2 の素子面積（この素



子面積を光学的な素子面積という)を $0.01\mu\text{m}^2$ 以上に形成しても実際にフリー磁性層 9 2 内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に関与する素子面積(この素子面積を実効的な素子面積という)を確実に小さくでき、 $\Delta R$ が大きく、再生出力の高い CPP 型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

## 【 0 2 6 9 】

またフリー磁性層 9 2 の素子面積を $0.01\mu\text{m}^2$ 以上に大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

## 【 0 2 7 0 】

ただし、フリー磁性層 9 2 と非磁性材料層 2 7 または非磁性材料層 2 5 の間に電流制限層 9 3 が形成されるときには、フリー磁性層 9 2 と非磁性材料層 2 7 または非磁性材料層 2 5 の内部を移動するアップスピンの伝導電子の散乱を抑えること、及び伝導電子のスピンの向きを変えないよう(スピNFLリッが起こらないよう)にすることが必要になる。

## 【 0 2 7 1 】

伝導電子のスピンの向きを変えないようにするためには、電流制限層 9 3 の開口部と非開口部のコンストラクトを高くし、開口部に余分な不純物元素が介在しないようにすること、或いは、伝導電子のスピNFLリッが生じにくい材料で電流制限層 9 3 を形成することが好ましい。

## 【 0 2 7 2 】

一方、図 1、図 5 ～ 図 1 2 に示される磁気検出素子のように、フリー磁性層の内部に電流制限層 5 4 が形成されるものであれば、電流制限層 5 4 のところで伝導電子のスピNFLリッが変化してもよい。

## 【 0 2 7 3 】

なお、上述した図 1、図 5 ～ 図 1 4 に示す磁気検出素子の上下には、ギャップ層(図示せず)を介してシールド層(図示せず)が設けられており、磁気検出素子、ギャップ層及びシールド層を合わせて MR ヘッドと呼ばれる。

## 【 0 2 7 4 】

なお図 1、図 5 ～ 図 1 4 に示す第 1 の電極層 2 0、及び第 2 の電極層 3 0 がギ

ャップ層を兼ねていてもよいし、あるいは第 1 の電極層 2 0、及び第 2 の電極層 3 0 が磁性材料で形成されるときは、シールド層を兼ねていてもよい。

【 0 2 7 5 】

MRヘッドの上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。磁気検出素子の上側に形成されたシールド層（上部シールド層）は、インダクティブヘッドの下部コア層として兼用されてもよい。

【 0 2 7 6 】

またMRヘッドは、例えばアルミナチタンカーバイド（ $Al_2O_3-TiC$ ）で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

【 0 2 7 7 】

図 1 に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

なお図 1 5、図 1 6、及び図 1 7 は、製造中の磁気検出素子を記録媒体との対向面から見た部分断面図である。

【 0 2 7 8 】

図 1 5 に示す工程では、第 1 の電極層 2 0 上に、Ta など形成された下地層 2 1、NiFeCr など形成されたシード層 2 2、PtMn など形成された反強磁性層 2 3、Co など形成された磁性層 5 0 と 5 2 と、磁性層 5 0、5 2 間に Ru などの中間層 5 1 が形成された 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 4、Cu など形成された非磁性材料層 2 5、フリー磁性層 2 6 の一部となる第 1 磁性層 5 3、及び絶縁部と導電部とが混在した電流制限層 5 4 を順次積層する。なお、電流制限層 5 4 は第 1 磁性層 5 3 の表面を保護する保護層でもある。

【 0 2 7 9 】

なお、電流制限層 5 4 の膜厚は  $5\text{ \AA} \sim 30\text{ \AA}$ 、第 1 磁性層 5 3 の膜厚は  $10\text{ \AA} \sim 100\text{ \AA}$ 、非磁性材料層 2 5 の膜厚は  $18\text{ \AA} \sim 40\text{ \AA}$ 、固定磁性層 2 4 の膜厚は  $20\text{ \AA} \sim 150\text{ \AA}$ 、反強磁性層 2 3 の膜厚は  $80\text{ \AA} \sim 300\text{ \AA}$ 、シード層 2 2 の膜厚は  $10\text{ \AA} \sim 60\text{ \AA}$ 、下地層 2 1 の膜厚は  $10\text{ \AA} \sim 30\text{ \AA}$ 、第 1 の電極層の膜厚は  $0.1\text{ }\mu\text{m} \sim \text{数 }\mu\text{m}$  である。

## 【 0 2 8 0 】

第 1 磁性層 5 3 は、Ni Fe 合金、Co Fe 合金、Co、Co Ni Fe 合金などにより形成される。なお、第 1 磁性層 5 3 の下には、拡散防止のための Co 膜や Co Fe 膜が形成されることが好ましい。

## 【 0 2 8 1 】

電流制限層 5 4 の製造方法については後述する。

次に図 1 6 に示す工程では、電流制限層 5 4 の上に、フリー磁性層 2 6 の第 2 磁性層 5 5、非磁性材料層 2 7、Co などで形成された磁性層 6 0 と 6 2 と、Ru などの中間層 6 1 が形成された 3 層フェリ構造の固定磁性層 2 8 及び反強磁性層 2 9 を積層する。

## 【 0 2 8 2 】

第 2 磁性層 5 5 の膜厚は  $10 \text{ \AA} \sim 100 \text{ \AA}$ 、非磁性材料層 2 7 の膜厚は  $18 \text{ \AA} \sim 40 \text{ \AA}$ 、固定磁性層 2 8 の膜厚は  $20 \text{ \AA} \sim 150 \text{ \AA}$ 、反強磁性層 2 9 の膜厚は  $80 \text{ \AA} \sim 300 \text{ \AA}$  である。

## 【 0 2 8 3 】

第 2 磁性層 5 5 は、Ni Fe 合金、Co Fe 合金、Co、Co Ni Fe 合金などにより形成される。なお、第 2 磁性層 5 5 の上には、拡散防止のための Co 膜や Co Fe 膜が形成されることが好ましい。また、非磁性材料層 2 7 の材料、固定磁性層 2 8 の材料、反強磁性層 2 9 の材料は、それぞれ非磁性材料層 2 5 の材料、固定磁性層 2 4 の材料、反強磁性層 2 3 の材料と同じである。

## 【 0 2 8 4 】

反強磁性層 2 9 から下地層 2 1 までの多層膜 1 0 0 を成膜後、多層膜 1 0 0 をハイト方向（図示 Y 方向）の磁場中でアニールして、反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 間及び反強磁性層 2 9 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 2 間に交換結合磁界を発生させる。

## 【 0 2 8 5 】

磁場中アニールの温度は例えば  $270^\circ\text{C}$  であり、磁界の大きさは、 $800 \text{ kA/m}$  の強磁場で行うか、または  $8 \sim 30 \text{ (kA/m)}$ 、例えば  $24 \text{ (kA/m)}$  である。

## 【 0 2 8 6 】

図 1 6 では、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_3$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_4$  より小さくし、また、固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 と磁性層 6 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 6 2 の膜厚  $t_5$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_6$  より小さくしている。

## 【 0 2 8 7 】

従って、磁性層 5 0 の単位面積当たりの磁気モーメント < 磁性層 5 2 の単位面積当たりの磁気モーメント、かつ磁性層 6 2 の単位面積当たりの磁気モーメント < 磁性層 6 0 の単位面積当たりの磁気モーメントとなっている。

## 【 0 2 8 8 】

上記 8 ~ 3 0 (k A / m) の磁場中アニールによって、磁性層 5 0 及び磁性層 6 2 の磁化がハイト方向 (図示 Y 方向) と反平行方向に向いている状態で固定され、中間層 5 1 または中間層 6 1 を介した R K K Y 相互作用によって磁性層 5 2 及び磁性層 6 0 の磁化がハイト方向 (図示 Y 方向) に固定される。

## 【 0 2 8 9 】

なお、磁場中アニールを 8 0 0 (k A / m) 以上の磁場中で行ったときは、磁性層 5 0 及び磁性層 6 2 の磁化がハイト方向 (図示 Y 方向) に向いた状態で固定される。

## 【 0 2 9 0 】

次に、反強磁性層 2 9 上に、レジスト層 R 1 を形成する。なおレジスト層 R 1 はリフトオフ用のレジスト層であることが好ましい。

## 【 0 2 9 1 】

レジスト層 R 1 の下面 R 1 a の面積は、磁気検出素子の光学的な素子面積と同程度かあるいはそれよりも若干小さく形成する。本発明ではフリー磁性層 2 6 の上面 (第 2 磁性層 5 5 の上面) のトラック幅方向 (図示 X 方向) の幅寸法で決まるトラック幅  $T_w$  を例えば 0. 1 5 ~ 0. 3  $\mu\text{m}$  に、ハイト方向 (図示 Y 方向) への長さ  $M R h$  を例えば 0. 1 5 ~ 0. 3  $\mu\text{m}$  にでき、したがって光学的な素子面積を 0. 0 2 ~ 0. 0 9  $\mu\text{m}^2$  に大きく形成することができる。光学的な素子面積を 0. 0 2 ~ 0. 0 9  $\mu\text{m}^2$  にすることは、現在使用できるフォトリソグラ

フィー技術の精度でも達成できる。

#### 【 0 2 9 2 】

次に、レジスト層 R 1 に覆われていない、反強磁性層 2 9 から下地層 2 1 までの多層膜 1 0 0 を、矢印 F 方向からのイオンミリングなどで除去する（図 1 6 に示す点線部分）。これにより第 1 の電極層 2 0 の上面中央には、下地層 2 1 から反強磁性層 2 9 までで構成される多層膜 T 1 が略台形状となって残される。なおイオンミリング後、多層膜 T 1 の両側端面 S 1, S 1 にはミリングで除去された物質の一部が再付着するので、再付着物をサイドミリングで除去することが好ましい。

#### 【 0 2 9 3 】

次に図 1 7 に示す工程では、第 1 の電極層 2 0 上から多層膜 T 1 の両側端面 S 1, S 1 上にかけて、 $Al_2O_3$  などで形成された絶縁層 3 1, 3 1、Cr などで形成されたバイアス下地層 3 2, 3 2、CoPtCr などで形成されたハードバイアス層 3 3, 3 3 及び  $Al_2O_3$  などで形成された絶縁層 3 4, 3 4 をスパッタ成膜する。

#### 【 0 2 9 4 】

なお図 1 7 に示すように、絶縁層 3 1, 3 1 から絶縁層 3 4, 3 4 までの各層のスパッタ成膜の際におけるスパッタ粒子照射角度は基板に対しほぼ垂直方向 G とすることが好ましい。

#### 【 0 2 9 5 】

また図 1 7 に示すように、レジスト層 R 1 の上にも絶縁材料膜 3 1 b、バイアス下地材料層 3 2 a、バイアス材料層 3 3 b 及び絶縁材料膜 3 4 a が積層形成される。

#### 【 0 2 9 6 】

多層膜 T 1 の両側領域に絶縁層 3 1, 3 1 から絶縁層 3 4, 3 4 までの各層を積層した後、レジスト層 R 1 を除去するが、レジスト層 R 1 の表面全体が、上記した絶縁材料膜 3 1 b などで覆われているときは、レジスト層 R 1 の除去を適切に行うことができないため、例えばスクラブ洗浄、具体的にはドライアイスの粒子などをレジスト層 R 1 表面を覆う絶縁材料膜 3 1 b などの各層に衝突させて一

部を除去し、レジスト層 R 1 の表面を一部露出させた後、レジスト層 R 1 を溶剤に浸して、レジスト層 R 1 を溶して除去する方法などが考えられる。

【 0 2 9 7 】

なおレジスト層 R 1 を除去した後、絶縁層 3 4, 3 4 から多層膜 T 1 の上面には、絶縁材料膜 3 1 b などの不要なバリが残ることがあるので、絶縁層 3 4, 3 4 上から多層膜 T 1 上を例えばスクラブ洗浄して、バリを除去しきれいな面に加工することが好ましい。なおスクラブ洗浄には、例えばドライアイスの粒子をバリに衝突させる方法などが考えられる。

【 0 2 9 8 】

その後、絶縁層 3 4, 3 4 上から多層膜 T 1 の反強磁性層 2 9 上にかけて第 2 の電極層 3 0 をスパッタ成膜する（図 1 を参照）ことにより、図 1 に示された磁気検出素子を形成できる。

【 0 2 9 9 】

電流制限層 5 4 の製造方法を詳しく説明する。

図 1 8 から図 2 7 は、第 1 磁性層上に電極制限層を形成する際の第 1 磁性層上面の状態を示す模式図である。

【 0 3 0 0 】

電流制限層 5 4 を形成するには、まず  $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  などの酸化膜や Al N などの窒化膜を第 1 磁性層 5 3 上にスパッタ成膜する。本発明では酸化膜としては、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Co のうちいずれか 1 種または 2 種以上の酸化物からなる絶縁材料を用いることが好ましい。

【 0 3 0 1 】

また窒化膜としては、Al、Si、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Ni、Co のうちいずれか 1 種または 2 種以上の窒化物からなる絶縁材料を用いることが好ましい。

【 0 3 0 2 】

これら酸化膜や窒化膜は、成膜条件によっては、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 上で連続体膜となりにくく、すなわち不連続体膜となりやすくすることが

できる絶縁材料である。不連続体膜になりやすいとは、図 1 8 に示すように、第 1 磁性層 5 3 で絶縁材料の粒子が凝集しやすく、核を形成しやすいことを意味する。

#### 【0303】

またより凝集性を高めるには、絶縁材料のスパッタ成膜時におけるスパッタ条件を適切に調整することが重要である。

#### 【0304】

まず基板温度を 2 0 ～ 2 0 0 ℃ 程度に低温にする。また基板とターゲット間の距離を 2 0 0 ～ 3 0 0 mm 程度に離す。また Ar ガスのガス圧を 1 0 ～ 5 0 m T o r r ( 1 . 3 ～ 6 . 7 P a ) 程度に高くする。

#### 【0305】

上記したスパッタ条件であると、絶縁材料の原子は、第 1 磁性層 5 3 で、表面移動が不十分となり凝集して核を形成しやすくなるのである。

#### 【0306】

核が成長した状態は図 1 9 に示されており、このように第 1 磁性層 5 3 上に形成された絶縁材料膜には、図 3 に示されるような絶縁材料膜の上面から下面にまで通じる複数の孔が形成される。なお絶縁材料膜には図 4 に示すような膜面と平行な平面から見たときに、連続して延びる溝が形成されていてもよい。

#### 【0307】

次に図 2 0 に示す工程では、絶縁材料膜上から孔内にかけて、導電性材料をスパッタ成膜する。これにより絶縁材料膜上から孔内には導電材料層が形成され、孔は導電材料層により埋められた状態になる。

#### 【0308】

なお導電性材料には、 $\alpha$ -T a、A u、C r、C u (銅) や W (タングステン) などを使用できるが、R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R e のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料を用いる方が好ましい。あるいは C u を用いてもよい。貴金属材料を用いると、貴金属材料はそれ自体、酸化されにくい材質であるから、熱処理などによって酸素の拡散が生じないようにする保護層としても機能させることができ、電流制限層の開口部 (孔) と非開口部 (絶縁

膜)とのコントラストを高く保つことが可能である。

#### 【0309】

なお、導電性材料として磁性材料を用いると、電流制限層54の上に積層される第2磁性層55と第1磁性層53を直接接触させることができ、第1磁性層53と第2磁性層55を強磁性的に結合させることができる。ただし、導電性材料として磁性材料を用いると熱処理などによって酸素の拡散が生じ、電流制限層の開口部(孔または溝)と非開口部(絶縁膜)とのコントラストが悪化することがある。

#### 【0310】

なお導電性材料のスパッタ条件では、例えば基板温度を20～100℃程度にする。また基板とターゲット間の距離を40～100mm程度にする。またArガスのガス圧を0.5～10mTorr(0.07～1.3Pa)程度にする。

#### 【0311】

上記の製造方法によって電流制限層54を形成することが可能である。

あるいは本発明では、まずAg、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素からなる膜をスパッタで形成し、このとき、金属膜に下面から上面にまで通じる複数の孔あるいは膜面と平行な平面から見たときに連続して延びる溝が適切に残されている状態でスパッタを止める。次に、この金属膜を酸化する。酸化には自然酸化、プラズマ酸化、ラジカル酸化や陽極酸化を用いることができる。

#### 【0312】

この酸化工程によって、金属膜は酸化され絶縁材料膜になる。そして図20工程で、絶縁材料膜上から孔内にかけて、導電性材料をスパッタ成膜する。これにより絶縁材料膜上から孔内には導電材料層が形成され、孔は導電材料層により埋められた状態になる。

#### 【0313】

ただし、上記した酸化工程によって、電流制限層下の層までも酸化の影響を受けやすい。そして上記の酸化工程によって例えば第1磁性層53が酸化されてし



まうと、膜面方向の全体に酸化膜が形成された状態となり電流制限層の開口部（孔または溝）と非開口部（絶縁膜）とのコントラストが悪化するので好ましくない。

#### 【0314】

また図18に示す凝集した核形成は、その下に形成されている層（図18では第1磁性層53）の表面エネルギーが高いと、完全濡れモードとなりやすく、単層成長（FMモード）しやすくなる。このため表面エネルギーが低く且つ酸化されにくい材質の下地を電流制限層54を形成する前に敷いておくことが好ましい。

#### 【0315】

その製造方法を示したのが図21ないし図23に示す工程である。図21に示すようにまずフリー磁性層26の第1磁性層53の上に貴金属元素からなる貴金属材料層74をスパッタ形成する。

#### 【0316】

このとき貴金属材料層74をRu、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Reのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。あるいは貴金属材料層74の代わりにCuからなるCu層を形成してもよい。貴金属元素で形成された貴金属材料層74またはCu層は表面エネルギーがフリー磁性層表面のエネルギーよりも低く、また酸化されにくい材質である。

#### 【0317】

次に図21に示すように、Ag、Cu、Zn、Ge、Pb、Al、Ti、Zr、Hf、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Si、Ni、希土類元素のうちいずれか1種または2種以上の金属元素をスパッタで形成する。金属元素は、貴金属材料層74表面に凝集して核を形成しやすく、図22に示すように例えば島状に凝集して形成され、金属膜には下面から上面にまで通じる複数の孔が設けられる。

#### 【0318】

次に図22のように金属膜を酸化する。酸化には自然酸化、プラズマ酸化、ラジカル酸化や陽極酸化などの既存の方法を使うことができる。これにより金属膜

を酸化物の絶縁材料膜に変化させる。このとき、金属膜の下には酸化されにくい貴金属材料層 7 4 が形成されているから酸化は貴金属材料層 7 4 の位置で食い止められ、貴金属材料層 7 4 以下の層に酸化が及ばない。

#### 【 0 3 1 9 】

そして図 2 3 に示す工程で、絶縁材料膜上から孔にかけて金属元素からなる導電膜（導電材料膜）をスパッタ成膜する。このとき金属元素を、下地層と同じ貴金属元素とすることが好ましい。すなわち図 2 3 に示す導電膜を R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R e のうちいずれか 1 種または 2 種以上の貴金属材料で形成することが好ましい。あるいは導電膜を C u で形成してもよい。

#### 【 0 3 2 0 】

貴金属元素以外の元素で導電膜の形成を行うと、その後に施される熱処理等により、絶縁材料膜から酸素が電流制限層 5 4 の上に形成される第 2 磁性層 5 5 などに移動し、酸素の分布がぼやけて開口部と非開口部とのコントラストが悪化するからである。

#### 【 0 3 2 1 】

さらに、電流制限層 5 4 の上に貴金属材料層 7 4 と同じ材料の貴金属材料層 7 5 をスパッタ成膜すると、その後に熱処理等が行なわれても電流制限層 5 4 の上に形成された層にまで酸素が拡散せず、電流制限層の酸化された部分と酸化されていない部分とのコントラストを良好に保つことができる。

#### 【 0 3 2 2 】

あるいは本発明では、絶縁材料で形成されたターゲットと導電性材料で形成されたターゲットを用意し、これら 2 つのターゲットをスパッタする。これにより第 1 磁性層 5 3 上には、絶縁材料の粒子と導電性材料の粒子とが混在した電流制限層 5 4 を形成することができる。絶縁材料及び導電性材料には上記した材質を使用してもよいが、本発明では以下の材料によって、絶縁材料膜に導電性粒子が分散された膜構成の電流制限層 5 4 を形成することができる。

#### 【 0 3 2 3 】

具体的には本発明では、第 1 磁性層 5 3 の上面に、 $\text{Fe}_a\text{M}_b\text{O}_c$ （ただし元素 M は T i、Z r、H f、N b、T a、M o、W 及び希土類元素から選ばれる 1 種

または2種以上の元素)なる組成式を有し、組成比 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は原子%で、 $40 \leq a \leq 50$ 、 $10 \leq b \leq 30$ 、 $20 \leq c \leq 40$ で、 $a + b + c = 100$ なる関係を満たし、また膜構造は、Feを主成分とした微結晶粒が、元素MとOとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層54をスパッタ成膜する。

## 【0324】

あるいは第1磁性層53の上面に、 $Fe_dM_eN_f$  (ただし元素Mは、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、W及び希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素)からなる組成式を有し、組成比 $d$ 、 $e$ 、 $f$ は原子%で、 $60 \leq d \leq 70$ 、 $10 \leq e \leq 15$ 、 $19 \leq f \leq 25$ で、 $d + e + f = 100$ なる関係を満たし、また膜構造は、Feを主成分とした微結晶粒が、元素MとNとの化合物を含む非晶質中に分散された膜構成を有する、電流制限層54をスパッタ成膜してもよい。

## 【0325】

これらFeMOやFeMN合金を成膜するには、例えばFeのターゲットとMOやMNからなるターゲットを用意しておき、これら2つのターゲットをスパッタすることで、上記した組成比及び膜構造を有する電流制限層54を形成することができる。

## 【0326】

あるいは本発明では、電流制限層54を、Coと、Ru、Pt、Au、Rh、Ir、Pd、Os、Re、Cu、Agのうちいずれか1種または2種以上の金属材料をスパッタ成膜した後、熱処理を施すことでCoを酸化して形成してもよい。

## 【0327】

ただし、上記したCoと貴金属元素との混合からなる電流制限層54の形成、及びFeMOやFeMN合金の形成時のときにでも、熱処理を施して酸化を促進させる工程があるため、この熱処理によって電流制限層54下の層にまで酸化が及ぶ可能性がある。

## 【0328】

従ってC oと貴金属元素との混合からなる電流制限層54やF eM OやF eM N合金からなる電流制限層54、いわゆるこれらグラニュー膜からなる電流制限層54の形成の場合でも図24に示す工程以降のように、まず第1磁性層53の上に貴金属元素からなる貴金属材料層74を形成しておくことが好ましい。貴金属材料層74は、R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R eのうちいずれか1種または2種以上の貴金属材料で形成される。あるいは貴金属材料層に代えてC u層を形成してもよい。ただし貴金属材料層74を用いる方が好ましい。

#### 【0329】

図24に示す工程では貴金属材料層74の上にF eM OやF eM N合金からなる電流制限層54をスパッタ成膜する。さらに電流制限層54の上に、貴金属材料層75を形成することが好ましい。貴金属材料層75の材料は、貴金属材料層74と同じである。また、貴金属材料層75に代えてC u層が形成されてもよい。

#### 【0330】

貴金属材料層74、電流制限層54及び貴金属材料層75を成膜後、熱処理を施すと電流制限層54のグラニューの相分離が進み、酸化されている部分とされていない部分とのコントラストが高まる。このとき、電流制限層54の上下は貴金属材料層74及び貴金属材料層75に挟まれているから酸化は電流制限層54の上下の層にまで及ばない。

#### 【0331】

図25に示す工程では第1磁性層53上に貴金属材料層74をスパッタ成膜し、その上にC oと、R u、P t、A u、R h、I r、P d、O s、R e、C u、A gのうちいずれか1種または2種以上の金属材料とを混合した材料をスパッタ成膜している。その後、アニールをして相分離を促進させる。図26に示す工程では自然酸化、プラズマ酸化、ラジカル酸化等を施して卑な物質よりなる主としてC oの部分を酸化して絶縁部とする。一方、A uなどで形成された貴金属粒子は酸化されず、導電性粒子としてそのまま残され導電部となる。

#### 【0332】

この熱処理及び酸化のときでも電流制限層 5 4 の下には貴金属材料層 7 4 が設けられているので、酸化は電流制限層 5 4 の下の層にまでは及ばない。

【 0 3 3 3 】

図 2 7 に示す工程では電流制限層 5 4 の上に貴金属材料層 7 5 をスパッタ成膜する。このように電流制限層 5 4 の上も貴金属材料層 7 5 でキャップしてしまうことで、その後に熱処理等が行なわれても電流制限層 5 4 の上に形成された層にまで酸素が拡散せず、電流制限層の酸化された部分と酸化されていない部分とのコントラストを良好に保つことができる。

【 0 3 3 4 】

なお図 2 4 及び図 2 5 に示す工程時の双方に言えることは、電流制限層 5 4 の膜厚をその中に含まれる導電性粒子の粒径よりも小さくすることである。そうしないと電流制限層 5 4 の上面から下面にかけてセンス電流が流れる電流通路が適切に形成されず、良好にセンス電流の電流経路を絞り込み再生出力の向上を図ることができないからである。

【 0 3 3 5 】

また、図 2 2 及び図 2 6 工程では、酸化工程を施して酸化物からなる絶縁材料膜を形成したが、窒化してもよい。

【 0 3 3 6 】

なお、電流制限層 5 4 の下と上に貴金属材料層 7 4 と貴金属材料層 7 5 が形成された磁気検出素子は、図 9 に示されている。

【 0 3 3 7 】

図 5 に示される磁気検出素子を形成するときは、図 1 5 工程において電極層 2 0 の上に C o P t などを用いてインスタックバイアス層 8 0 を形成した後に下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、フリー磁性層 2 6（第 1 磁性層 5 3、電流制限層 5 4、第 2 磁性層 5 5）、非磁性材料層 2 7、固定磁性層 2 8、反強磁性層 2 9、中間層 8 1、インスタックバイアス層 8 2 をべた膜状に形成する。

【 0 3 3 8 】

次に、図 1 6 工程と同様の工程を経た後、略台形状に削られた多層膜 T 2 の両

側領域に絶縁層 8 3, 8 3 を成膜して、さらに第 2 の電極層 3 0 を形成した後、常温でインスタックバイアス層 8 0、8 2 をトラック幅方向と反平行方向に着磁する。

#### 【 0 3 3 9 】

図 6 に示された磁気検出素子を形成するときは、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_9$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_{10}$  より小さく ( $t_9 < t_{10}$ ) し、また、固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 と磁性層 6 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 6 2 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_{11}$  より大きく ( $t_{12} > t_{11}$ ) した状態で、ハイト方向 (図示 Y 方向) の磁場中でアニールして、反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 間及び反強磁性層 2 9 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 2 間に交換結合磁界を発生させる。

#### 【 0 3 4 0 】

磁場中アニールの温度は例えば 2 7 0 °C であり、磁界の大きさは 8 ~ 3 0 (k A / m)、例えば 2 4 (k A / m) である。

#### 【 0 3 4 1 】

磁性層 5 0 の単位面積当たりの磁気モーメント < 磁性層 5 2 の単位面積当たりの磁気モーメント、かつ磁性層 6 2 の単位面積当たりの磁気モーメント > 磁性層 6 0 の単位面積当たりの磁気モーメントであるので、上記磁場中アニールによって、磁性層 5 0 の磁化はハイト方向と反平行方向に向いている状態で、磁性層 6 2 の磁化はハイト方向に向いている状態で固定され、中間層 5 1 または中間層 6 1 を介した R K K Y 相互作用によって磁性層 5 2 はハイト方向に、磁性層 6 0 の磁化はハイト方向 (図示 Y 方向) と反平行方向に固定される。すなわち、一回の磁場中アニールで磁性層 5 2 と磁性層 6 0 の磁化方向を反平行にすることができる。

#### 【 0 3 4 2 】

なお、磁性層 5 0 の膜厚  $t_9$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_{10}$  より大きく ( $t_9 > t_{10}$ ) し、また、磁性層 6 2 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_{11}$  より小さく ( $t_{12} < t_{11}$ ) しても、1 回の磁場中アニールによって、磁性層 5 2 と磁性

層 6 0 の磁化方向を反平行にすることができる。

【 0 3 4 3 】

固定磁性層 2 4 の磁性層 5 2 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 の磁化方向を反平行にする他の方法を以下に示す。

【 0 3 4 4 】

まず、電極層 2 0 上に下地層 2 1、シード層 2 2、反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、フリー磁性層 2 6 の第 1 磁性層 5 3 及び電流制限層 5 4 までを成膜した後、例えばハイト方向の磁場中で、第 1 の磁場中アニールを施す。次に、電流制限層 5 4 の上に、フリー磁性層 2 6 の第 2 磁性層 5 5、非磁性材料層 2 7、固定磁性層 2 8 及び反強磁性層 2 9 を積層し、第 1 の磁場中アニール時の磁場の方向と反平行方向の磁場で第 2 の磁場中アニールをする。

【 0 3 4 5 】

なお、磁性層 6 2 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_{11}$  より小さく ( $t_{12} < t_{11}$ ) した状態で、第 1 の磁場中アニールを固定磁性層 2 4 の飽和磁界よりも大きい磁場（例えば  $800 \text{ kA/m}$  以上の磁場）中で行ったときは、第 2 の磁場中アニールを、固定磁性層 2 4 及び固定磁性層 2 8 のスピンプロップ磁界の大きさより弱く、第 1 の磁場中アニールの磁場方向と同じ方向の磁場中で行う。

【 0 3 4 6 】

第 1 の磁場中アニールの熱処理温度は例えば  $270^\circ\text{C}$  であり、磁界の大きさは例えば  $800 \text{ k (A/m)}$  である。

【 0 3 4 7 】

なお第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、下側の反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 間の交換結合磁界及び磁性層 5 0 と磁性層 5 2 間のスピンプロップ磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、反強磁性層 2 3 のブロッキング温度よりも低くする。これによって反強磁性層 2 3 と磁性層 5 0 間の交換結合磁界の方向をハイト方向と反平行方向に向けたまま、上側の反強磁性層 2 9 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 2 間の交換異方性磁界をハイト方向に向けることができる。

【 0 3 4 8 】

なお第 2 の磁場中アニールの熱処理温度は例えば  $250^{\circ}\text{C}$  であり、磁界の大きさは  $8 \sim 30 \text{ (kA/m)}$ 、例えば  $24 \text{ (kA/m)}$  である。第 2 の印加磁界の大きさは、上側の固定磁性層 28 の保磁力より大きい。

## 【 0 3 4 9 】

2 回の磁場中アニールを行う方法であれば、固定磁性層 24 の磁性層 50 と磁性層 52 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 50 の膜厚  $t_9$  を磁性層 52 の膜厚  $t_{10}$  以上にし ( $t_9 \geq t_{10}$ )、また、固定磁性層 28 の磁性層 60 と磁性層 62 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 62 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 60 の膜厚  $t_{11}$  以上 ( $t_{12} \geq t_{11}$ ) にしても、固定磁性層 24 の磁性層 52 と固定磁性層 28 の磁性層 60 の磁化方向を反平行にすることができる。または、磁性層 50 の膜厚  $t_9$  を磁性層 52 の膜厚  $t_{10}$  以下にし ( $t_9 \leq t_{10}$ )、また、磁性層 62 の膜厚  $t_{12}$  を磁性層 60 の膜厚  $t_{11}$  以下 ( $t_{12} \leq t_{11}$ ) にした場合でも同様である。

## 【 0 3 5 0 】

$t_9 \geq t_{10}$  かつ  $t_{12} \geq t_{11}$ 、または  $t_9 \leq t_{10}$  かつ  $t_{12} \leq t_{11}$  の構成であると、下側の反強磁性層 23 と固定磁性層 24 間の一方向性異方性磁界  $H_{ex*}$  と上側の反強磁性層 29 と固定磁性層 28 間の一方向性異方性磁界  $H_{ex*}$  の大きさを同程度の値に合わせやすくなる。

## 【 0 3 5 1 】

図 7 に示された磁気検出素子を形成するときにも、図 6 に示された磁気検出素子と同様にして、固定磁性層 24 の磁性層 52 の磁化方向と固定磁性層 28 の磁性層 60 の磁化方向を反平行にする。また、固定磁性層 24 の磁性層 52 の磁化方向と固定磁性層 28 の磁性層 60 を固定した後、インスタックバイアス層 82 を常温でトラック幅方向と反平行方向に着磁する。

## 【 0 3 5 2 】

図 8 に示された磁気検出素子を形成するときは、電流制限層 54 を介した磁性層 73 と第 2 磁性層 55 の強磁性結合を弱くして、フリー磁性層 84 の第 1 磁性層 70 の磁性層 73 の磁化方向と第 2 磁性層 55 の磁化方向が互いに反平行になるようにする。



## 【 0 3 5 3 】

そして、第 1 磁性層 7 0 の磁性層 7 3 と磁性層 7 1 を非磁性中間層 7 2 を介した積層フェリ構造とすることによって、磁性層 7 3 と磁性層 7 1 を R K K Y 相互作用によって反強磁性的に結合させる。

## 【 0 3 5 4 】

これによって、フリー磁性層 8 4 の最上層である第 2 磁性層 5 5 と最下層である磁性層 7 1 の磁化方向を平行方向に向かせる。

## 【 0 3 5 5 】

さらに、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 と磁性層 5 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 5 0 の膜厚  $t_3$  を磁性層 5 2 の膜厚  $t_4$  より小さくし、また、固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0 と磁性層 6 2 を同じ組成の磁性材料を用いて形成し、磁性層 6 2 の膜厚  $t_5$  を磁性層 6 0 の膜厚  $t_6$  より小さくする。

## 【 0 3 5 6 】

これによって、磁性層 5 0 の単位面積当たりの磁気モーメント < 磁性層 5 2 の単位面積当たりの磁気モーメント、かつ磁性層 6 2 の単位面積当たりの磁気モーメント < 磁性層 6 0 の単位面積当たりの磁気モーメントとし、ハイト方向（図示 Y 方向）の磁場中でアニールして、反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 4 の磁性層 5 0 間及び反強磁性層 2 9 と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 2 間に交換結合磁界を発生させる。

## 【 0 3 5 7 】

磁場中アニールの温度は例えば  $270^{\circ}\text{C}$  であり、磁界の大きさは  $800\text{ (kA/m)}$  以上または  $8\sim30\text{ (kA/m)}$ 、例えば  $24\text{ (kA/m)}$  である。

## 【 0 3 5 8 】

この 1 回の磁場中アニールによって、磁性層 5 2 及び磁性層 6 0 をハイト方向と反平行方向（ $800\text{ (kA/m)}$  以上の磁場中アニールのとき）、またはハイト方向（ $8\sim30\text{ (kA/m)}$  の磁場中アニールのとき）に固定することができる。

## 【 0 3 5 9 】

また、固定磁性層 2 4 の磁性層 5 2 の磁化方向と固定磁性層 2 8 の磁性層 6 0

を固定した後、インスタックバイアス層 8 2 を常温でトラック幅方向と反平行方向に着磁する。

#### 【0 3 6 0】

なお、上述した実施の形態において、フリー磁性層として電流制限層を介して第 1 磁性層と第 2 磁性層が積層されているものを示したが、フリー磁性層に 3 層以上の磁性層が存在し、それぞれの間に電流制限層が形成されていてもよい。

#### 【0 3 6 1】

##### 【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明では、前記フリー磁性層の内部または前記フリー磁性層と前記非磁性材料層の間に前記電流制限層が形成されるので、前記フリー磁性層内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。

#### 【0 3 6 2】

したがって本発明によれば、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層の素子面積（この素子面積を光学的な素子面積という）を  $0.01 \mu\text{m}^2$  以上に形成しても実際に前記フリー磁性層内にセンス電流が流れて、磁気抵抗効果に關与する素子面積（この素子面積を実効的な素子面積という）を確実に小さくでき、 $\Delta R$  が大きく、再生出力の高い C P P 型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

#### 【0 3 6 3】

また前記フリー磁性層の素子面積を  $0.01 \mu\text{m}^2$  以上に大きくできるから、記録媒体からの外部磁界を効果的に検出することが可能であり、再生出力の向上、再生波形の安定性の向上を図ることが可能である。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図 1】

本発明における第 1 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

#### 【図 2】

フリー磁性層の第 1 磁性層と第 2 磁性層がトポロジカルカップリングをしている状態の示す模式図、

【図 3】

本発明における多層膜及び電流制限層の膜構成を示す部分模式図、

【図 4】

本発明における多層膜及び別の電流制限層の膜構成を示す部分模式図

【図 5】

本発明における第 2 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 6】

本発明における第 3 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 7】

本発明における第 4 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 8】

本発明における第 5 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 9】

本発明における第 6 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 0】

本発明における第 7 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 1】

本発明における第 8 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 2】

本発明における第 9 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 3】

本発明における第 1 0 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 4】

本発明における第 1 1 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 5】

図 1 の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 6】

図 1 の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 7】

図 1 の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 8】

第 1 磁性層上に電極制限層を形成する際の第 1 磁性層上面の状態を示す模式図、

【図 1 9】

図 1 8 の次の状態を示す部分模式図、

【図 2 0】

図 1 9 の次の状態を示す部分模式図、

【図 2 1】

第 1 磁性層上に電極制限層を形成する際の第 1 磁性層上面の状態を示す模式図、

【図 2 2】

図 2 1 の次の状態を示す部分模式図、

【図 2 3】

図 2 2 の次の状態を示す部分模式図、

【図 2 4】

第 1 磁性層上に電極制限層を形成する際の第 1 磁性層上面の状態を示す模式図、

【図 2 5】

第 1 磁性層上に電極制限層を形成する際の第 1 磁性層上面の状態を示す模式図、

【図 2 6】

図 2 5 の次の状態を示す部分模式図、

【図 2 7】

図 2 6 の次の状態を示す部分模式図、

【図 2 8】

従来の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

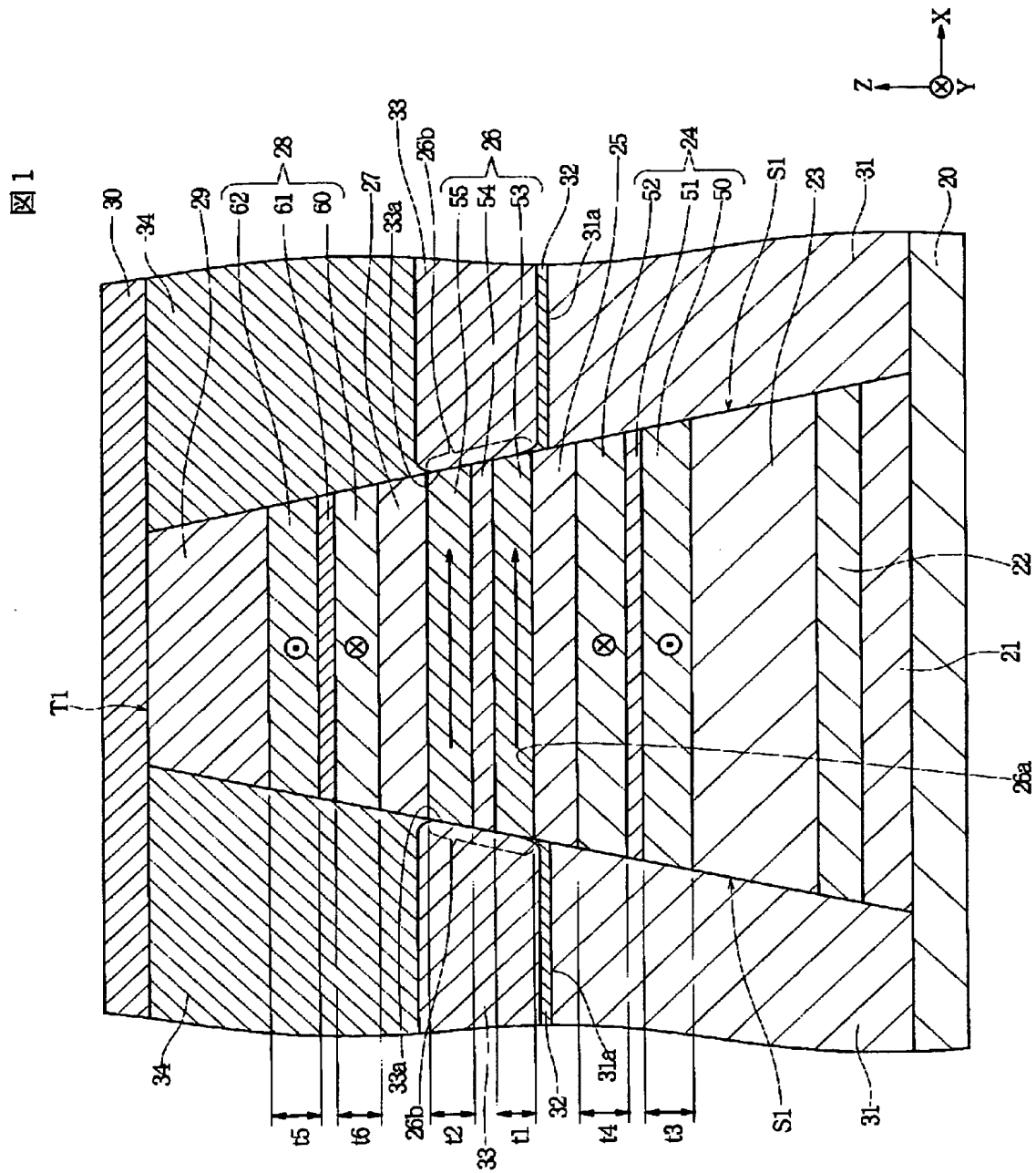
【符号の説明】

- 2 0 第 1 の電極層
- 2 1 下地層
- 2 2 シード層
- 2 3、2 9 反強磁性層
- 2 4、2 8 固定磁性層
- 2 5、2 7 非磁性材料層
- 2 6、8 4、9 2 フリー磁性層
- 5 3 第 1 磁性層
- 5 4、9 3 電流制限層
- 5 5 第 2 磁性層
- 3 0 第 2 の電極層
- 3 1、3 4 絶縁層
- 3 2 バイアス下地層
- 3 3 ハードバイアス層
- 8 0、8 2 インスタックバイアス層
- 8 1 中間層

【書類名】

図面

【図 1】



【図 2】

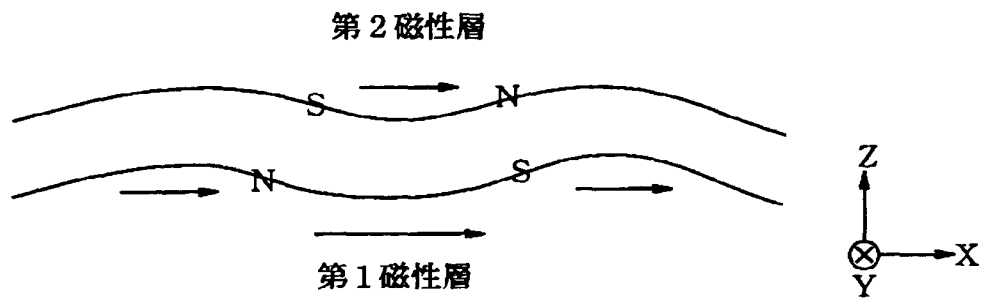


図 2

【図 3】

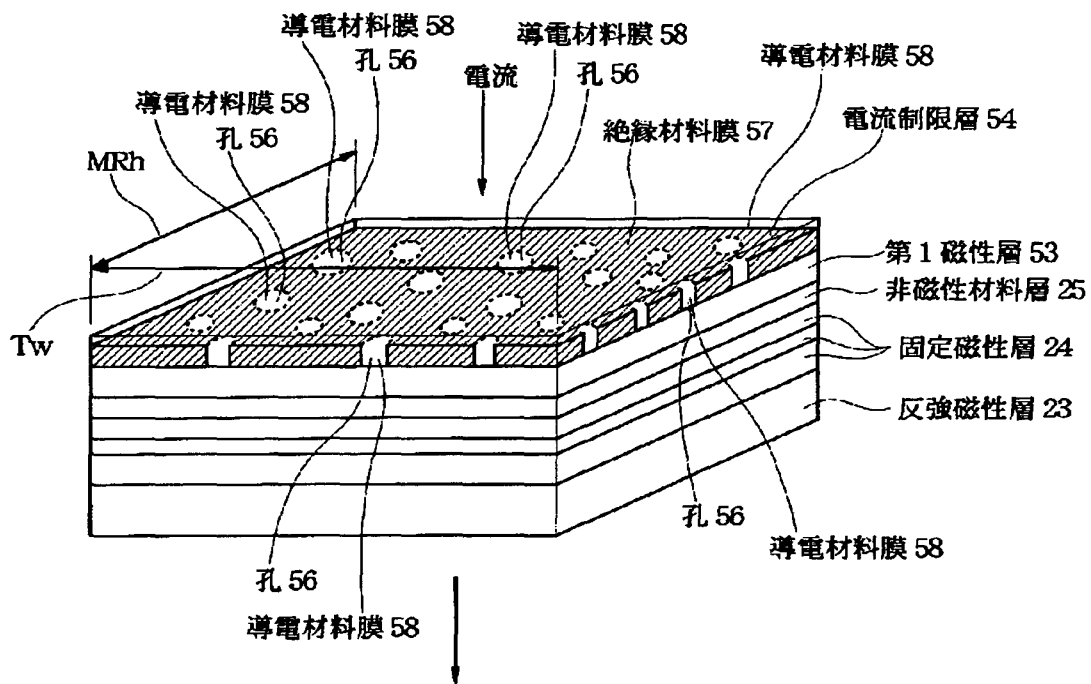
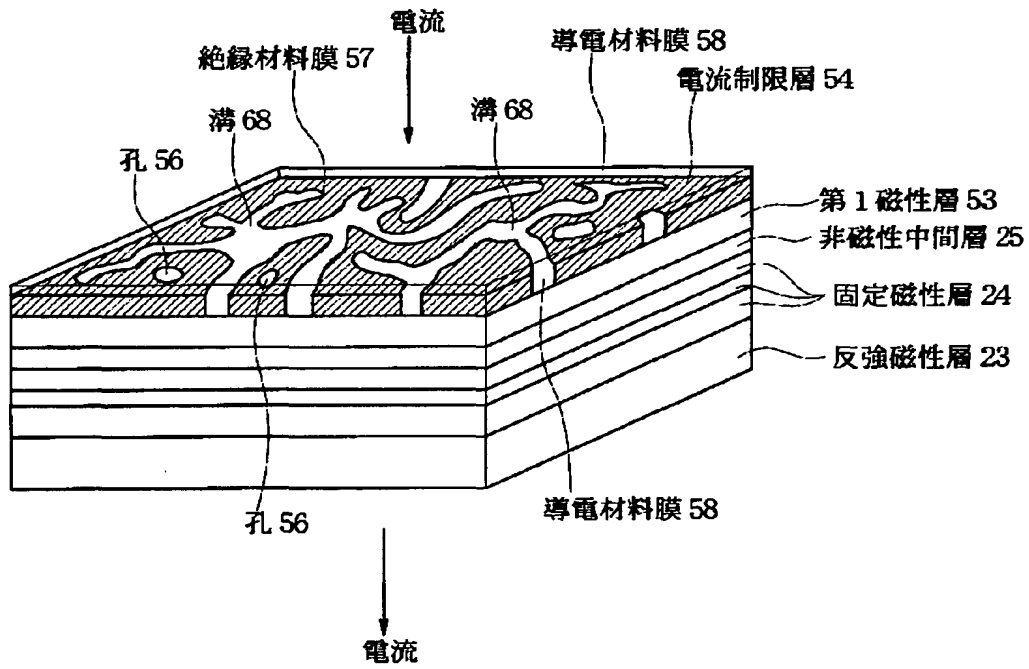


図 3

【図 4】

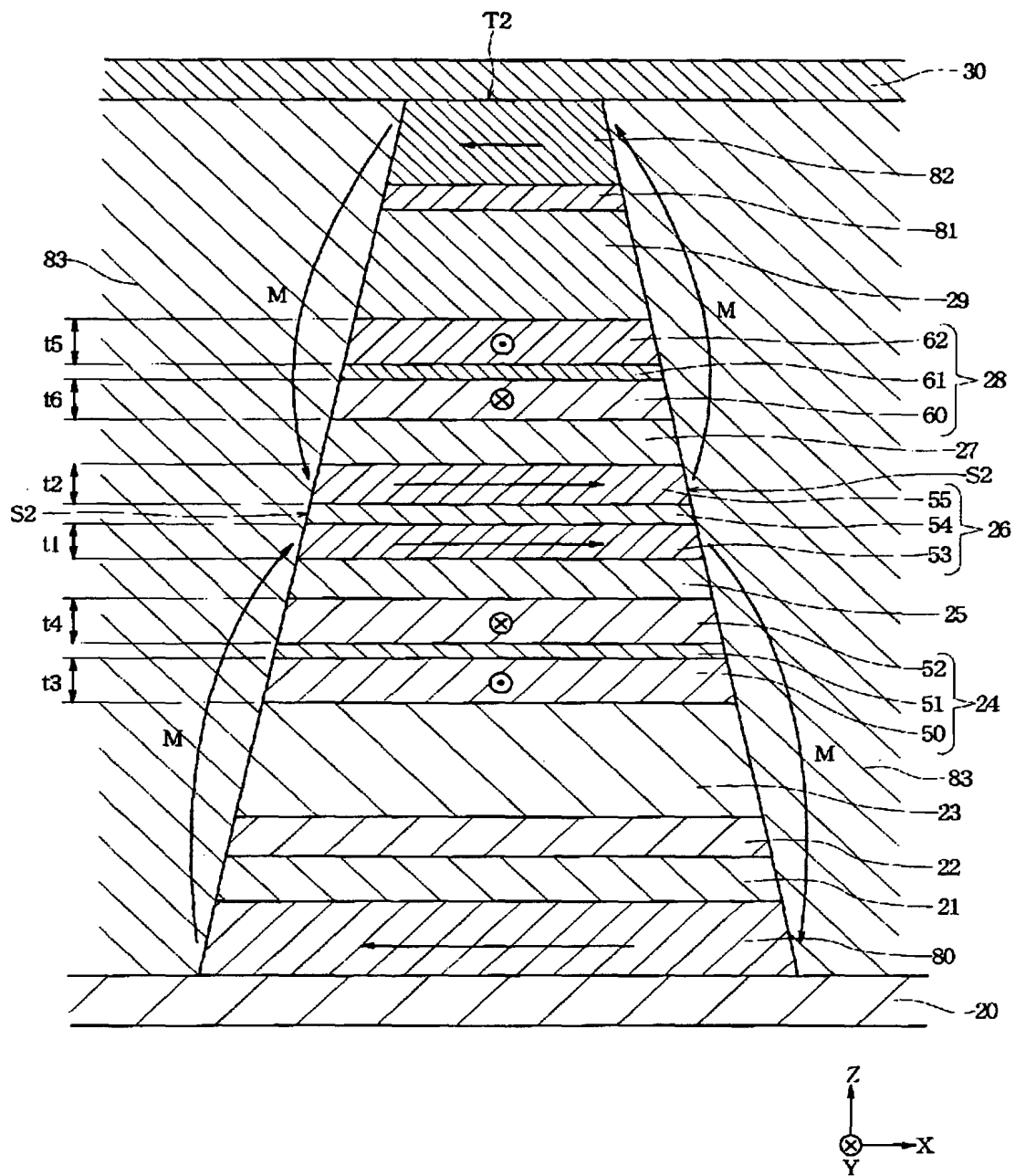
図 4



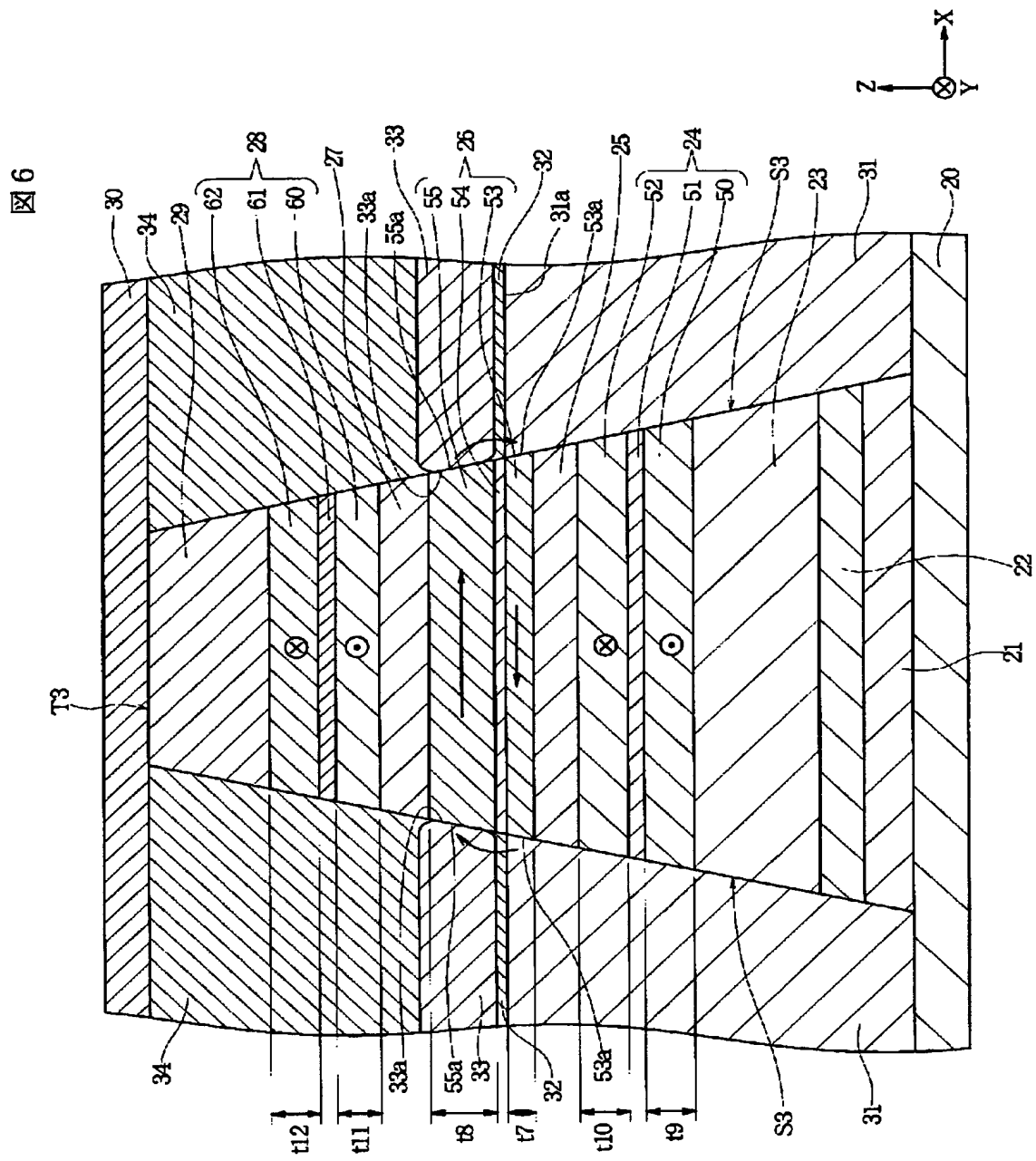


【図 5】

図 5

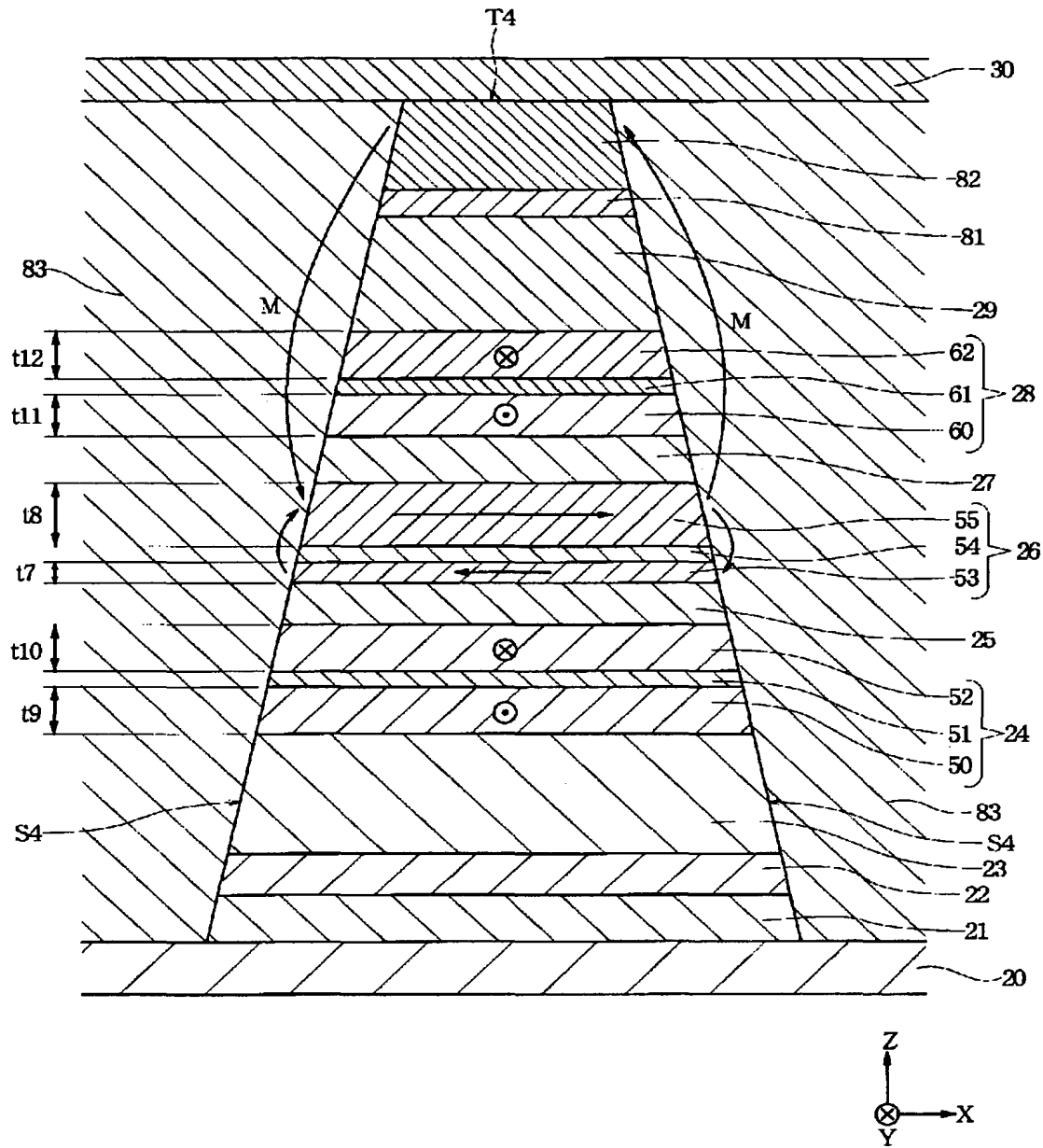


【図 6】



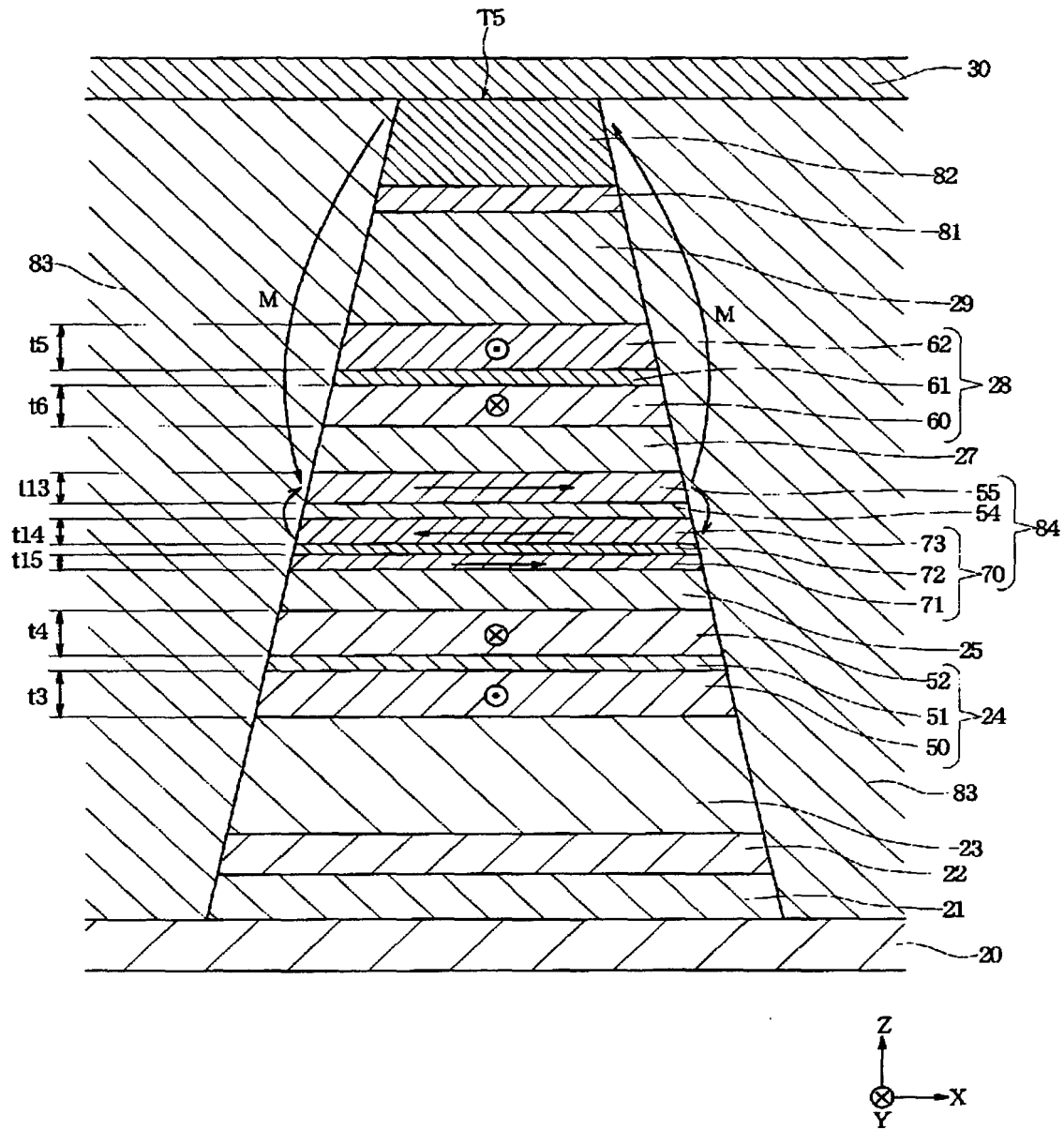
【図 7】

図 7

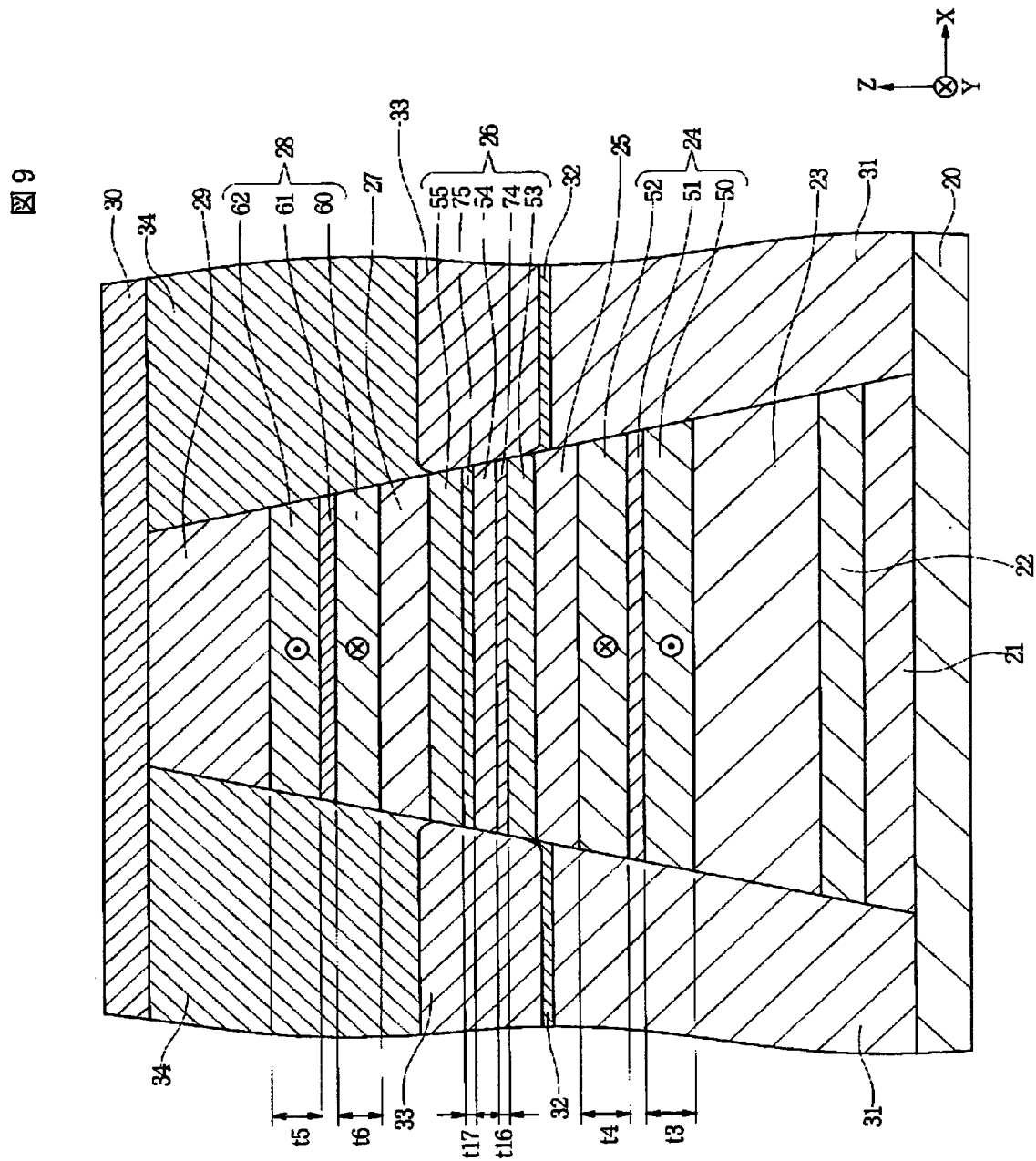


【図 8】

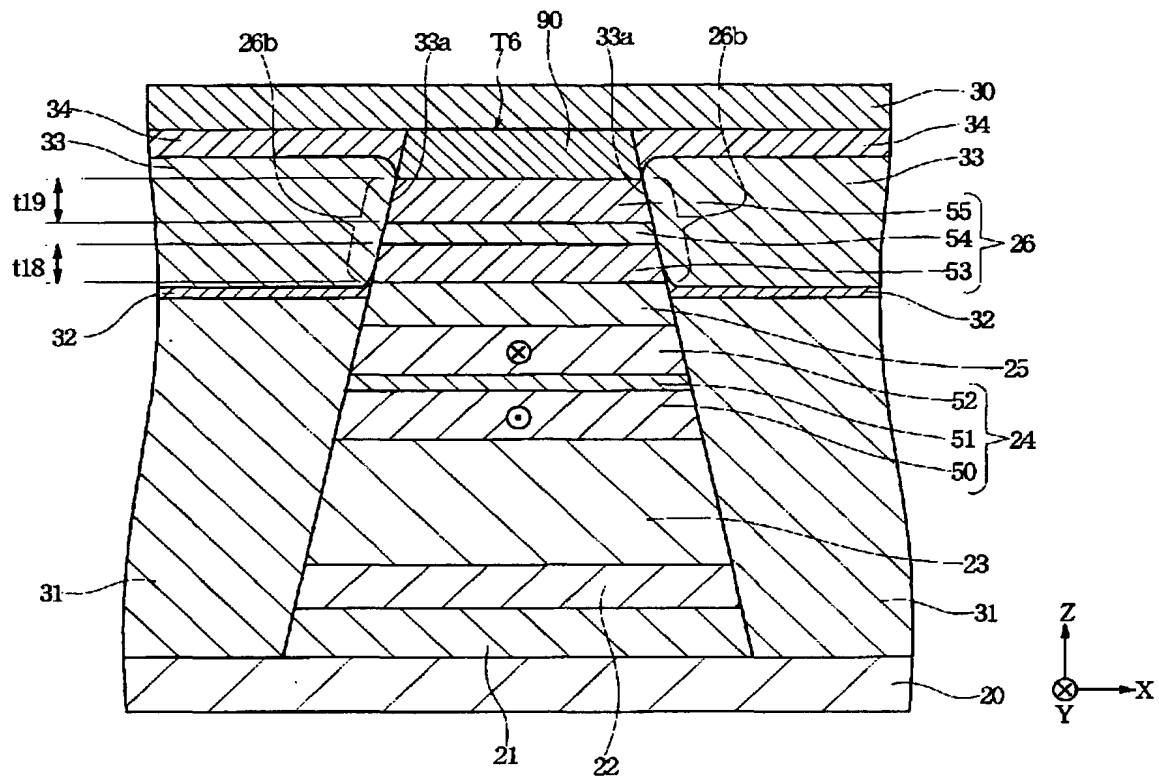
図 8



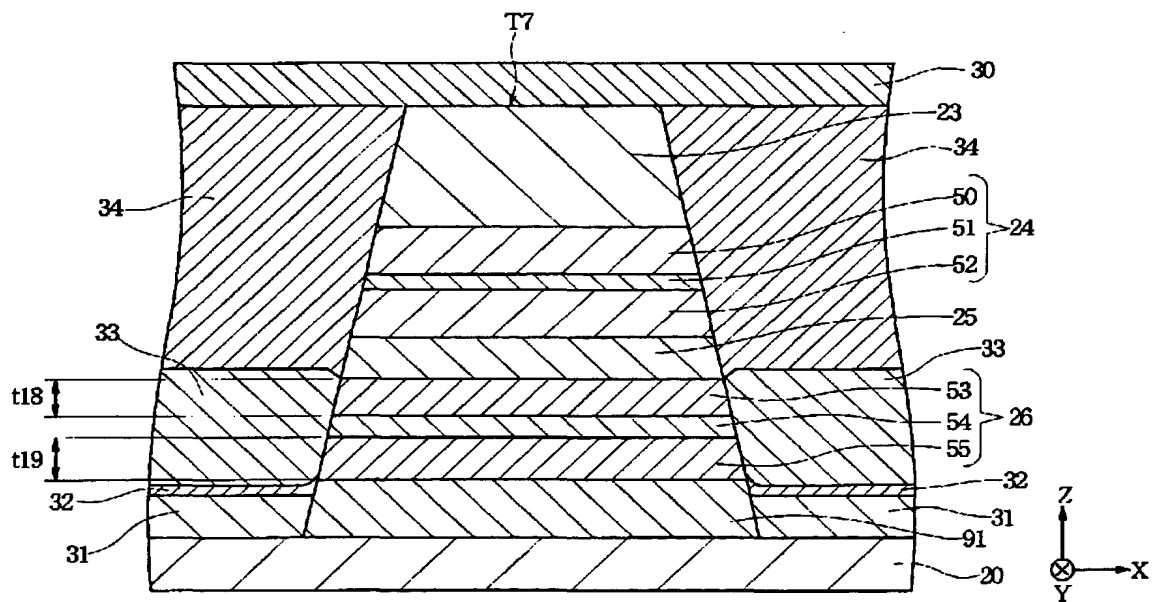
【図9】



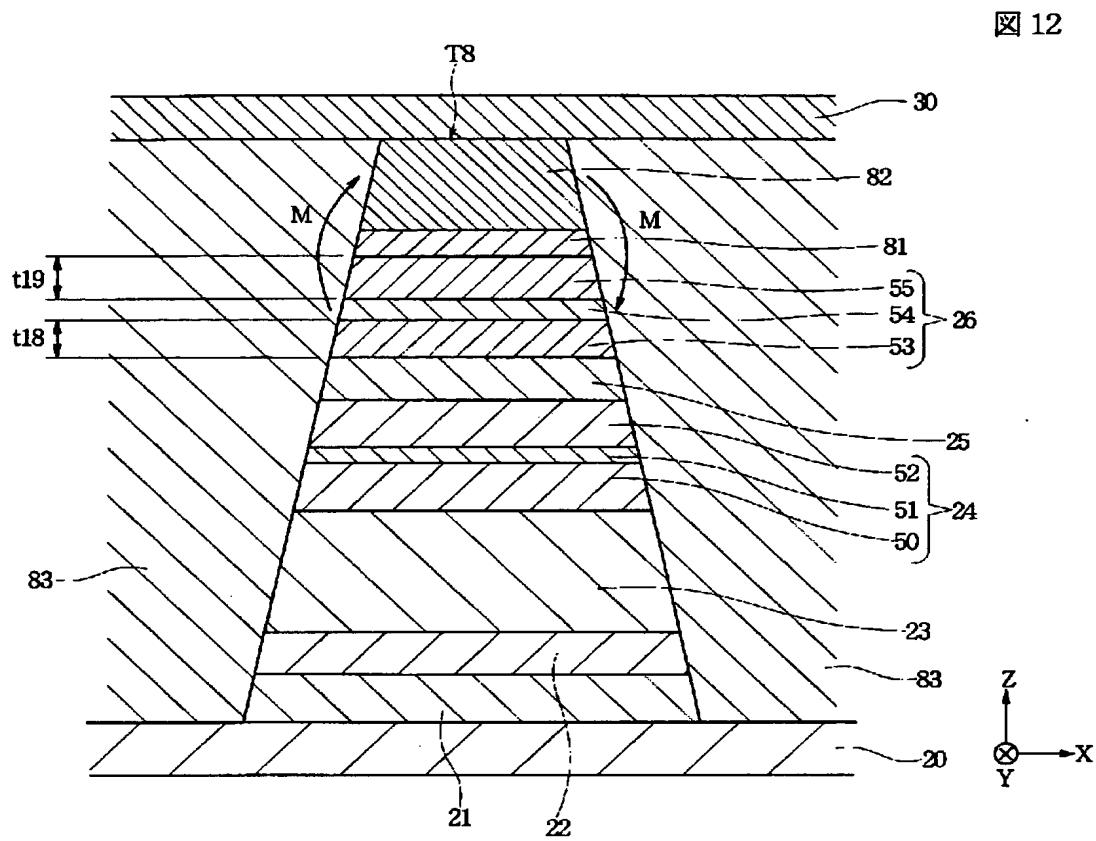
【圖 10】



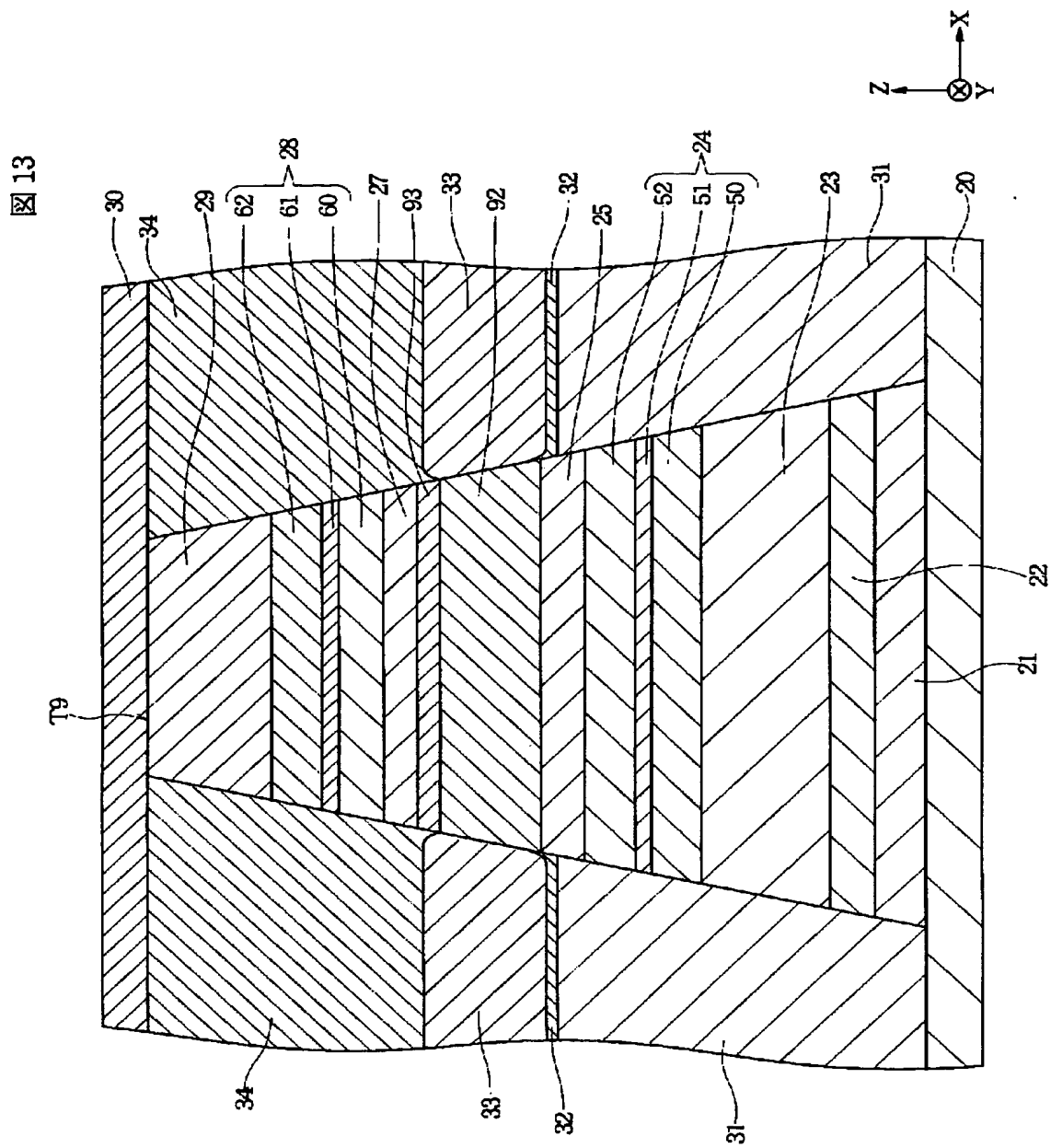
【図 1 1】



【図 12】



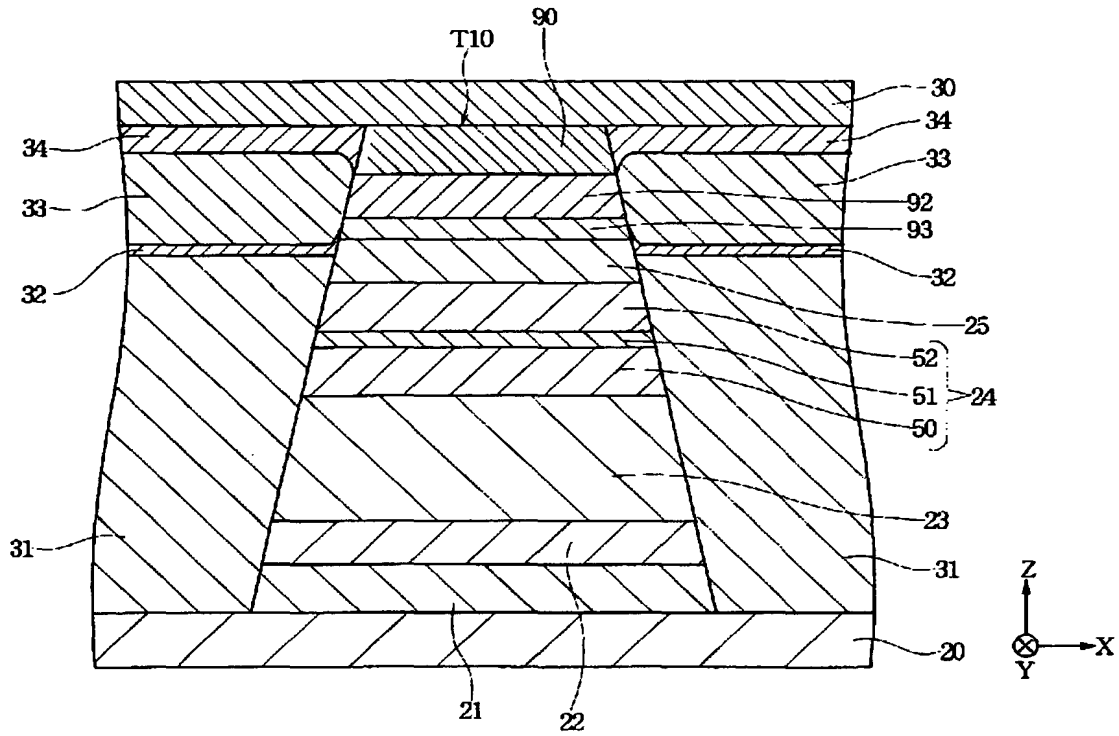
【図 13】





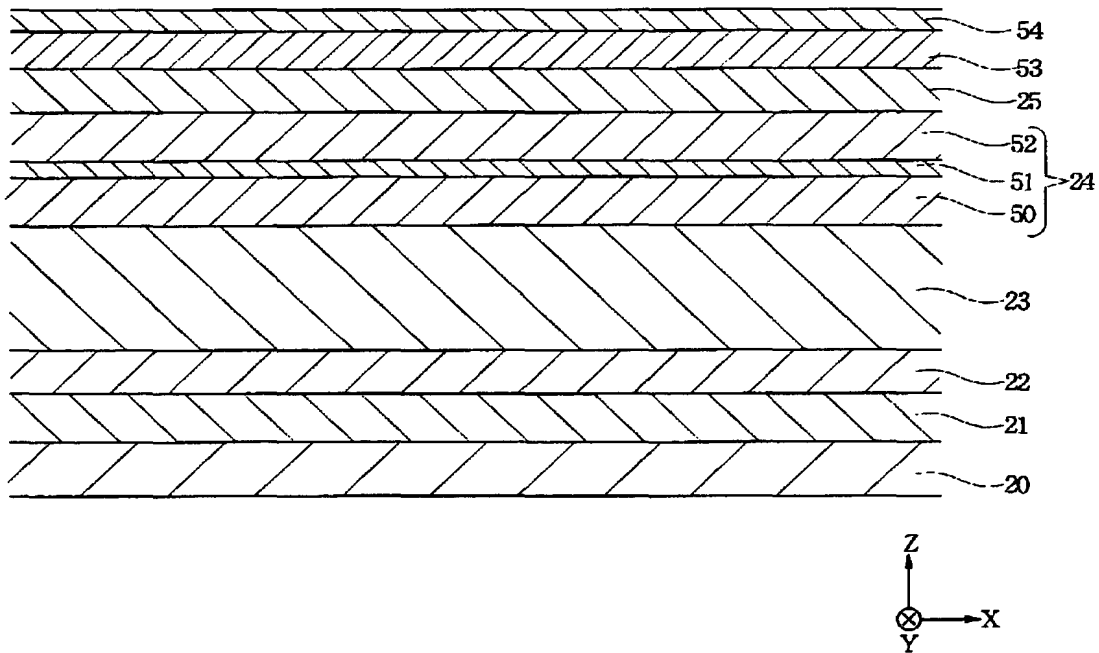
【図 1 4】

図 14

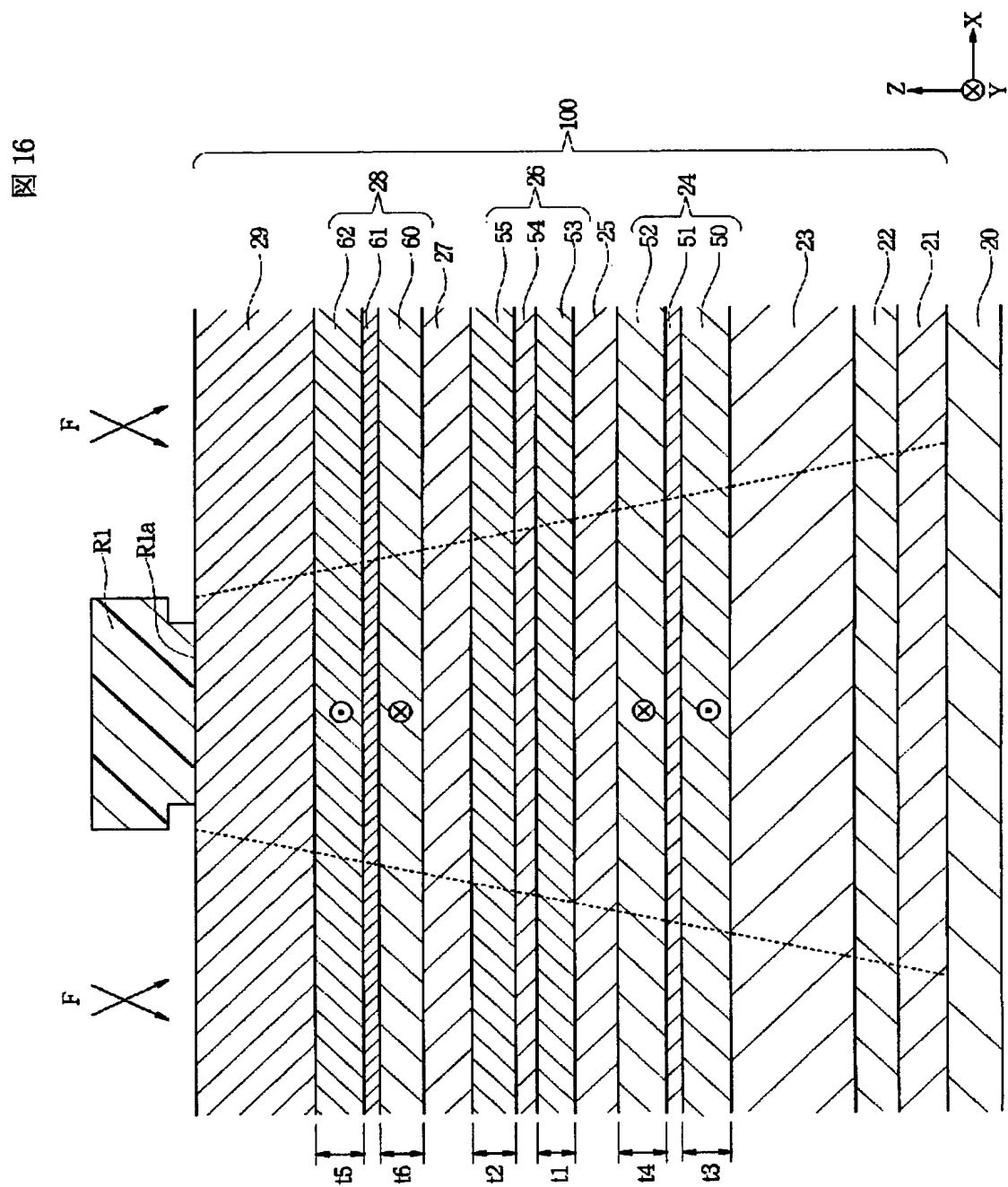


【図 1 5】

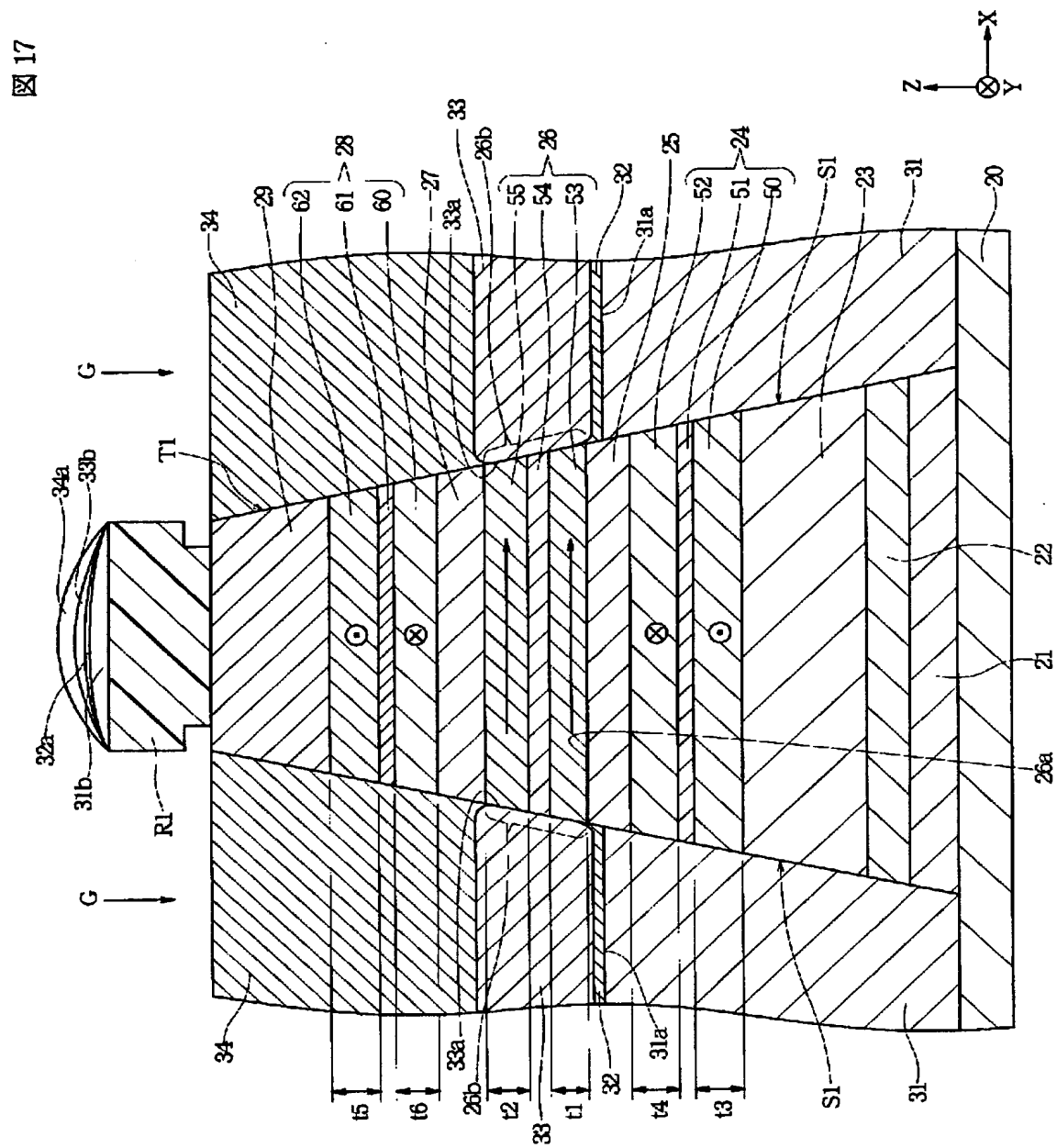
図 15



【図 16】

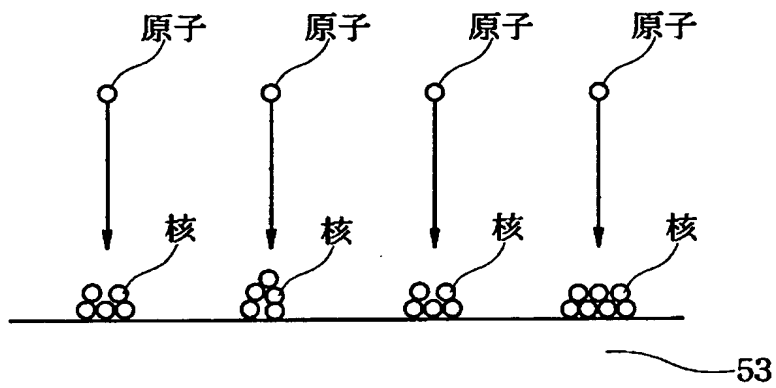


【図 17】



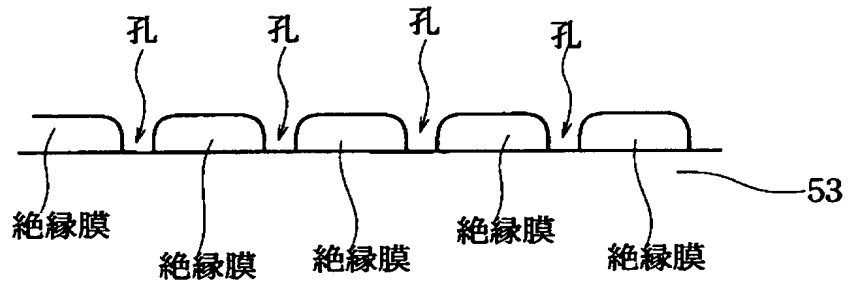
【図18】

図 18



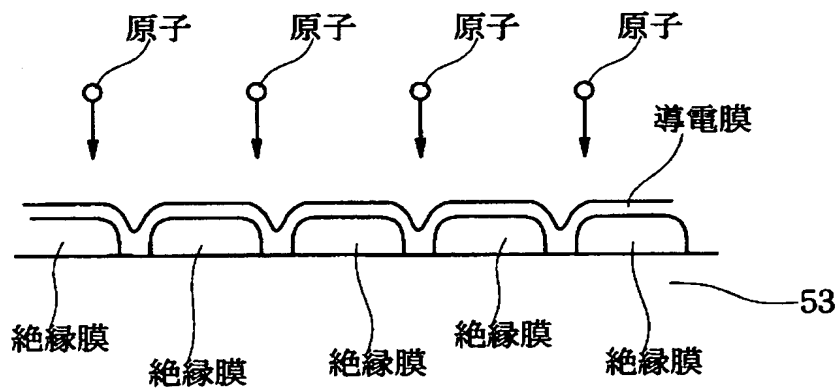
【図19】

図 19



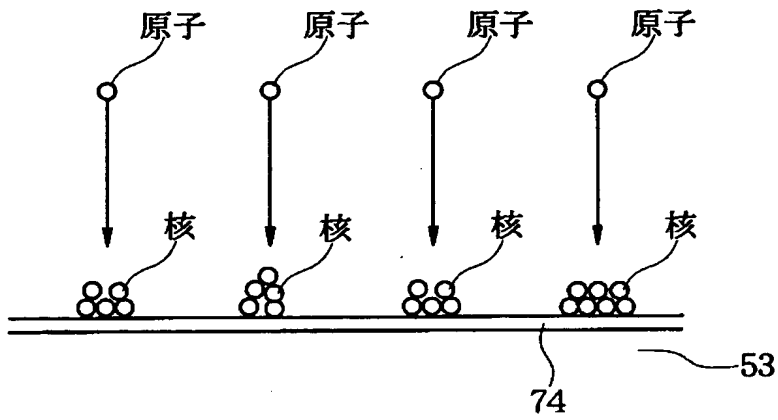
【図20】

図 20



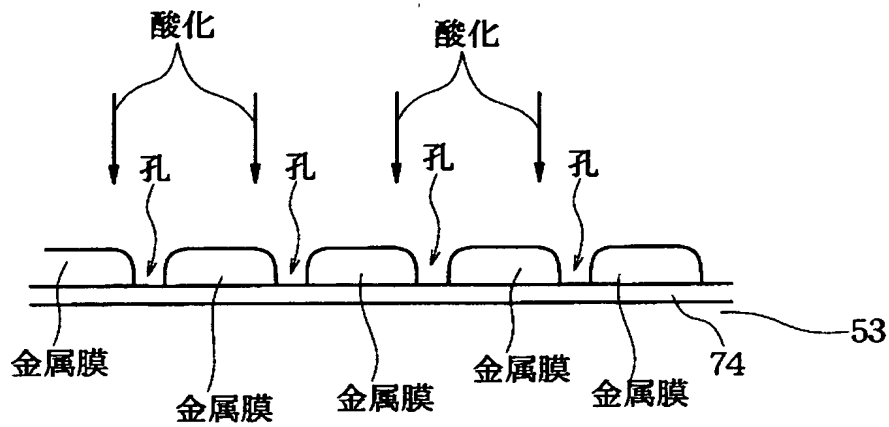
【図 21】

図 21

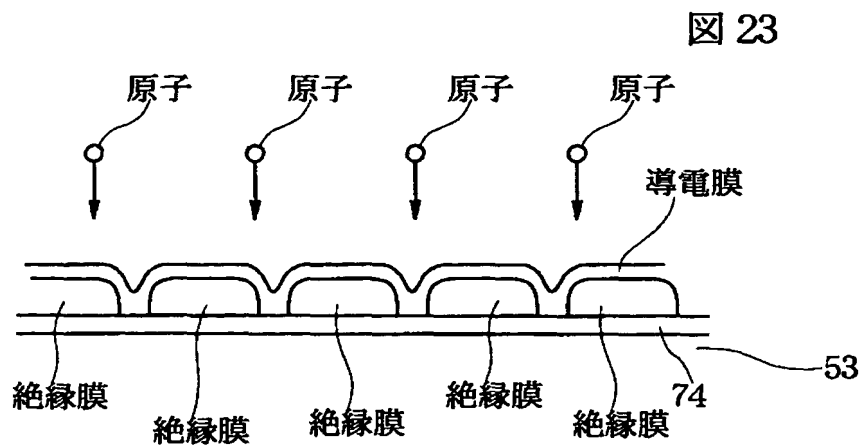


【図 22】

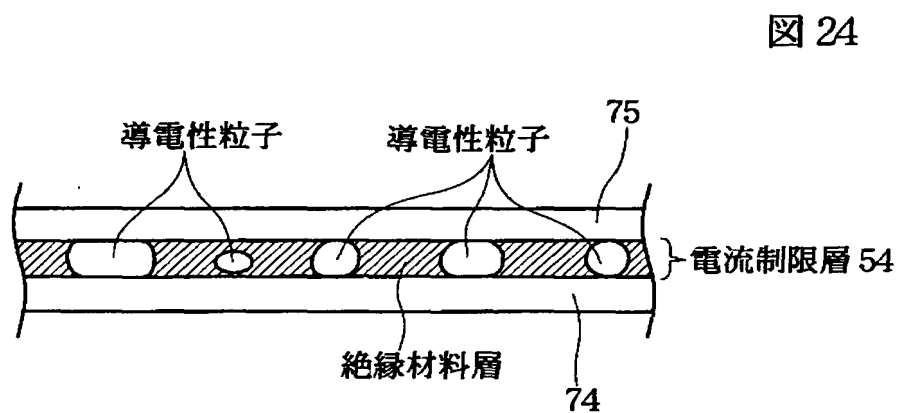
図 22



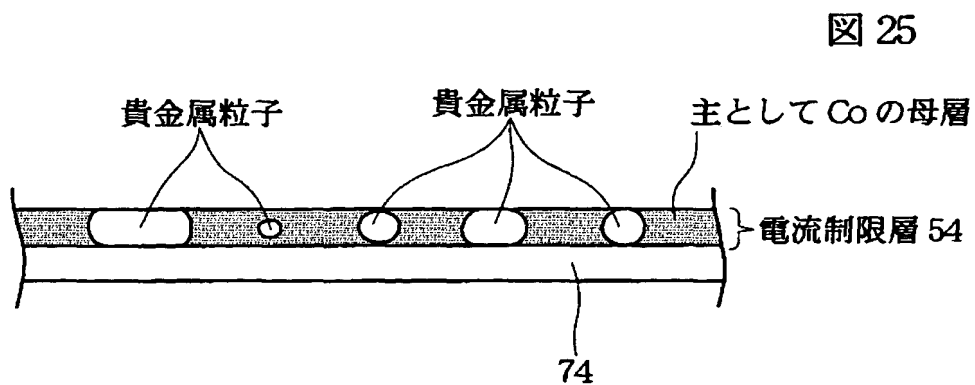
【図 23】



【図 24】

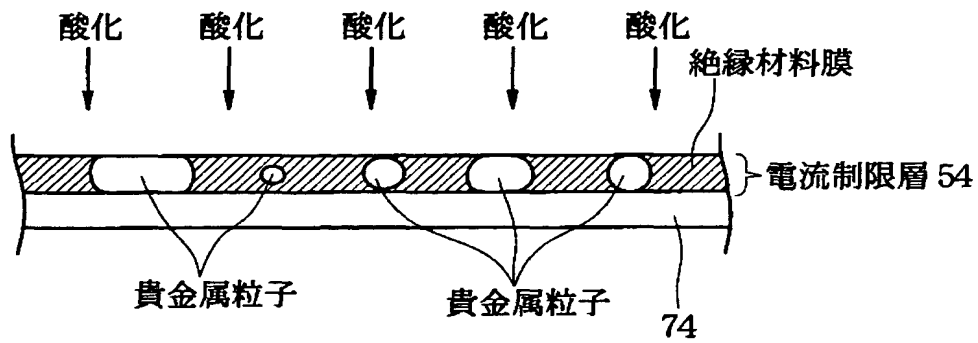


【図 25】



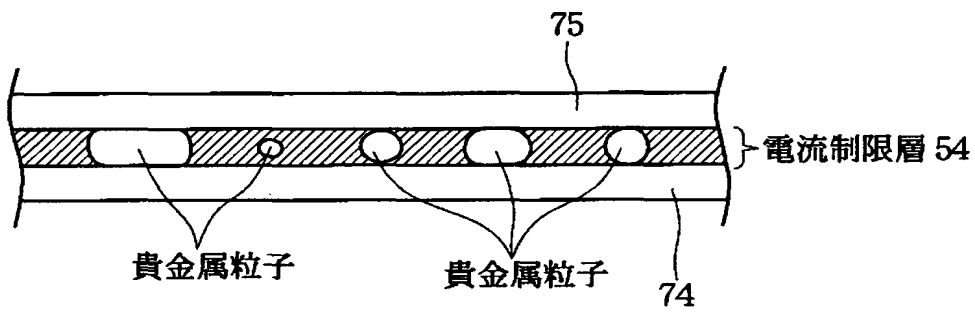
【図 2 6】

図 26



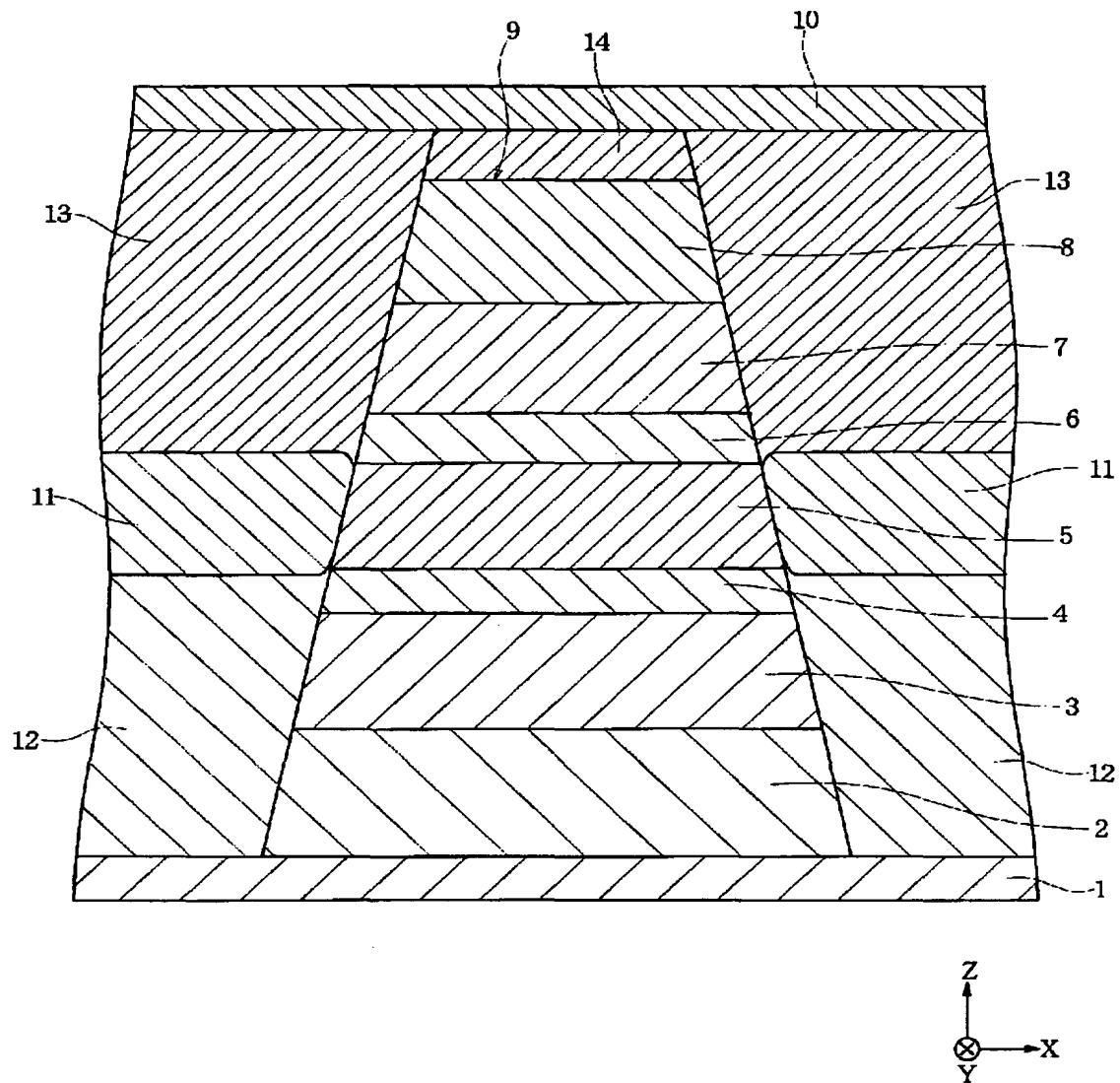
【図 2 7】

図 27



【図 2 8】

図 28





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 C P P 型のスピバルブ型磁気検出素子において、光学的な素子面積を大きくしても実効的な素子面積を小さくできる磁気検出素子を提供する。

【解決手段】 フリー磁性層 2 6 の内部に絶縁部と導電部を有する電流制限層 5 4 を形成することにより、電流制限層 5 4 によって絞りこまれたセンス電流の拡散を低減でき、フリー磁性層 2 6 内に流れるセンス電流の電流密度の局所的な高密度化を確実に維持できる。したがって、膜面と平行な方向におけるフリー磁性層の光学的な素子面積を  $0.01 \mu\text{m}^2$  以上に形成しても実効的な素子面積を確実に小さくでき、 $\Delta R$  が大きく、再生出力の高い C P P 型の磁気検出素子を容易に形成することができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号  
氏 名 アルプス電気株式会社